



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL**

**DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS
ADMISIBLES DE LA MADERA DE PINO RADIATA
PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS
ESTRUCTURALES PARA VIVIENDAS EN
CAJAMARCA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTORES:

BACÓN LLANOS CRUZ

DIAZ HUAMÁN WILLAN

ASESOR:

Ing. JOSUÉ FERNÁNDEZ PÉREZ

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

DISEÑO SÍSMICO Y ESTRUCTURAL

CHICLAYO — PERÚ

2016

PAGINA DEL JURADO

ING. SAMILLAN FARRO RAMON DE JESUS
PRESIDENTE

ING. CACHAY SILVA ROBERTO CARLOS
SECRETARIO

ING. CASTRO SAMILLAN BERNARDINO
VOCAL

DEDICATORIA

Para todas las personas que
estuvieron apoyándonos a lo
largo de esta travesía

Los autores

AGRADECIMIENTO

A Dios; por darnos el soplo de vida y guiarnos en el camino, darnos las fuerzas de superación para alcanzar nuestras metas.

A nuestros seres queridos; quienes nos brindaron su apoyo moral e incondicional para alcanzar esta meta.

A los Docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la UCV; quienes nos brindaron sus conocimientos y orientaron a seguir siempre adelante, en especial al Ing. Héctor Pérez Loayza por el apoyo mutuo en el desarrollo de nuestra tesis y así poder cumplir con nuestras metas trazadas.

A nuestros compañeros de estudio; por sus enseñanzas, amistad y grandes momentos compartidos durante nuestra formación como profesionales.

Los autores

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo Cruz Bacón Llanos con DNI N° 42708137 y Willan Díaz Huamán con DNI N° 41421615, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el **Reglamento de grados y títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de la ingeniería Civil**, declaramos bajo juramento que toda la documentación que acompañamos es veraz y auténtica; en tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Chiclayo, julio 2017

Cruz Bacón Llanos
DNI N° 42708137

Willan Díaz Huamán
DNI N° 41421615

PRESENTACIÓN

Señores miembros integrantes del jurado calificador, de conformidad con el reglamento de grados y títulos de la Universidad Cesar Vallejo. En la actualidad la provincia y departamento de Cajamarca en su gran mayoría desconoce la resistencia y método de utilizar la madera de Pino Radiata, los tesisistas de vuestra escuela profesional en virtud de haber hecho el estudio de **“DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS ADMISIBLES DE LA MADERA DE PINO RADIATA PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PARA VIVIENDAS EN CAJAMARCA”**, presentamos el procedimiento, la metodología, y las conclusiones del mismo.

Los autores

ÍNDICE

PAGINA DEL JURADO	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	v
PRESENTACIÓN	vi
ÍNDICE	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCION	10
1.1 Realidad Problemática	10
1.2 Trabajos previos	11
1.3 Teorías relacionadas al tema	12
1.4 Formulación del problema	72
1.5 Justificación del estudio	73
1.6 Hipótesis	74
1.7 Objetivos.	74
II. MÉTODO	75
2.1 Diseño de investigación	75
2.2 Variables, operacionalización	75
2.3 Población y muestra	75
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	77
2.5 Métodos de análisis de datos	79
2.6 Aspectos éticos	111
III. RESULTADOS	112
IV. DISCUSIÓN	152
V. CONCLUSIÓN	153
VI. RECOMENDACIONES	156
VII. REFERENCIAS	157
ANEXOS	158

RESUMEN

La madera es el material cuyo uso en el campo de la industria de la construcción data desde la antigüedad, al igual que la roca o el adobe, sin embargo a pesar del avance tecnológico en el campo de la ingeniería de los materiales, la madera sigue siendo un material vigente aún en los sistemas estructurales más sofisticados actuales.

La ejecución del presente trabajo se planteó para determinar los esfuerzos admisibles a diferentes solicitaciones de carga de la madera de pino radiata, para constituir una herramienta de diseño de elementos estructurales de las diferentes construcciones civiles.

La metodología usada ha consistido en hacer inicialmente la elección del bosque de donde se extrajo los árboles para el mencionado estudio, luego la elección de los mismos, para de ellos extraer las probetas de ensayo, elaboración y acondicionamiento y ensayo de probetas en laboratorio, obtención y tratamiento de datos, de resultados y conclusiones y recomendaciones.

Finalmente se concluyó con la determinación de los valores más probables y representativos de los esfuerzos admisibles para las diferentes solicitaciones de carga de la madera de pino radiata de Cajamarca, los mismos que serán útiles en el diseño de diferentes elementos estructurales como vigas, columnas, pies derechos, entablados, etc. encontrándose que dichos valores son similares a los del grupo estructural C.

Palabras claves: diseño, madera, vivienda

ABSTRACT

Wood is the material the use of which in the field of construction industry data since antiquity, like rock or adobe, sin embargo despite the technological advancement in the field of materials engineering, Wood is the UN material being effective even in the current structural systems more sophisticated.

The implementation of this work was proposed S. para determine the different stresses Allowable stresses one timber load of radiata pine, para constitute a tool for design of structural elements of different civil constructions.

USADA methodology consisted initially make the choice of forest where the trees to be extracted This study, then choosing the same, para They draw from the test specimens, processing and packaging and testing specimens in laboratory OBTAINING and Data, Results and Conclusions and Recommendations.

Finally it ended with the determination of Securities and more likely representative of the Allowable stresses for different requests loading wood radiata pine Cajamarca, the same that will be useful in the design of different structural elements such as beams, columns, pies Rights filed, etc. That finding such Securities Related son to the structural group C

Keywords: design, wood, housing

I. INTRODUCCION

1.1 Realidad Problemática

La madera es probablemente la única materia prima renovable que se utiliza a gran escala y en la que su aprovechamiento (como material de construcción) no daña al medio ambiente. En realidad, el uso de la madera no se circunscribe a un período de tiempo de la humanidad, ya que es un material que de forma permanente y continua ha estado presente a lo largo de toda la historia de la civilización en casi todas las actividades del hombre. Su tecnología ha ido evolucionando, se han mejorado las propiedades de sus productos derivados, han surgido nuevos productos que han ampliado su campo de aplicación y se han complementado con otras materias primas para mejorar sus prestaciones.

Las maderas se emplean como material de construcción, tanto en construcciones hechas íntegramente con este material o como accesorio para diversas funciones, encofrados, pisos, techos, paneles, etc. La superficie arbórea cubre actualmente más del 25% de la tierra, de estos bosques se obtienen elementos para numerosas aplicaciones y en los países productores de madera existen planificaciones para mantener la producción por tiempo indefinido.

Como material estructural, la madera ofrece ciertas ventajas importantes en comparación con otros materiales, así como por ejemplo para resistir a los sismos. La madera es resistente pero ligera, por lo cual los movimientos telúricos no generan tanta energía de respuesta en edificios de madera como lo hacen en otro tipo de construcciones. Como ventaja adicional, los sistemas de estructura de madera son más flexibles que otros materiales, por lo que absorben y disipan mejor la energía de deformación acumulada.

La resistencia de las maderas, su poco peso y la facilidad de procesarlas, las hacen muy recomendables para su uso en la construcción de diversas /edificaciones. En el Perú el diseño y la construcción con madera se encuentra normada en el Reglamento Nacional de Estructuras (E101 Y E102) y todos sus procesos están reglamentados bajo la NTP 251.018 así como por las NTP 251.019 Y 251.020.

Los Esfuerzos Admisibles, de Diseño o de Trabajo son aquellos con los cuales se diseñarán los diferentes elementos estructurales de las diversas

edificaciones que se planteen realizar y el ingeniero Diseñador necesita como herramienta básica e imprescindible para llevar a cabo dicho objetivo.

En el presente trabajo de investigación se determinarán los siguientes esfuerzos admisibles de la madera de Pino Radiata:

- Esfuerzo admisible a la Compresión Paralela a la fibra.
- Esfuerzo admisible a la compresión Perpendicular al grano.
- Esfuerzo Admisible a la Tracción Paralela a la fibra.
- Esfuerzo Admisible a la Flexión Estática
- Esfuerzo al Corte o Cizallamiento paralelo al grano

1.2 Trabajos previos

El sector construcción es un área de gran actividad e importancia dentro de la política económica social de nuestro país, este sector es un verdadero motor de desarrollo, que impulsa el progreso de nuestra sociedad. Aun cuando se tienen nuevos materiales, la madera sigue siendo un importante material de construcción muy utilizado en nuestros días, para la construcción de diferentes estructuras como: puentes, armaduras para techos, casas, prefabricados, postes y como elemento de acabado en diferentes tipos de ambientes y construcciones, etc., a pesar de sus bondades mencionadas en nuestro país por razones de influencias externas e idiosincrasia no se le ha dado la importancia que tiene.

En Cajamarca existen instituciones como ADEFOR en las cuales se realizan estudios a cerca de diferentes campos de la industria de la madera excepto estudios mecánicos, razón por la cual se establece un puente de acercamiento institucional para realizar el presente trabajo, ya que nos han proporcionado valiosa información bibliográfica y sus instalaciones para entender el proceso de propagación, transformación y obtención de elementos estructurales a escala natural.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Cesar Vallejo, con este trabajo se comienza a inmiscuir el campo de esta línea de investigación en nuestro medio, para en un futuro próximo realizar otros de naturaleza similar y lograr obtener al final una base de datos que permita enriquecer las fuentes

bibliográficas útiles a los estudiantes de ingeniería civil y a todos los profesionales de la industria de la construcción.

Cuadro 1: Tesis realizadas en la Facultad de Ingeniería de la UNC

Título de tesis	Autor (s), año.
“Comportamiento mecánico de la madera de Pinos Tenuifolia. Un proyecto de aplicación”.	Cabrera Díaz, Carola. 1992.
“Diseño y ensayo de estructuras de madera de eucalipto a escala natural”.	Caballero Chavarri, José. 1991.
“Estudio tecnológico de la madera Pinus Psedostrobus de Cajamarca con fines de diseño estructural”.	Miranda Cabrera, Margot Elizabeth. Miranda Cabrera, Luz Elena. 1993.

Fuente: Elaboración propia

1.3 Teorías relacionadas al tema

1.3.1 ESTRUCTURA Y CARACTERISTICAS ANATOMICAS DE LA MADERA.

La madera proviene de los árboles. Esto es lo más importante a tener presente para entender su naturaleza. El origen de las cualidades o defectos que posee pueden determinarse a partir del árbol de donde proviene. La madera tiene una compleja estructura natural, diseñada para servir a las necesidades funcionales de un árbol en vida, más que ser un material diseñado para satisfacer necesidades de constructores.

El conocimiento sobre la naturaleza de la madera, características y comportamiento, es necesario para establecer y efectuar un buen uso de este material. En este aspecto radica la importancia de que exista información adecuada a los actuales requerimientos, ya que permite a los profesionales que intervienen en el diseño y ejecución de construcciones en madera, realizar una acertada gestión y correcta utilización del material, con el objeto de cumplir altos estándares de calidad y bienestar, a precios convenientes en el mercado de la vivienda.

La madera es históricamente uno de los materiales más utilizados por el hombre. Actualmente, en la mayoría de los países desarrollados, su uso como material estructural alcanza un alto porcentaje de la construcción habitacional de 1 a 4 pisos.



Foto 1: Estructura de la cubierta de una piscina. Estructurado en madera.
Richmond Olympic Oval, Canada

Fuente: Wikimedia, recuperado de
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Richmond_Olympic_Oval_intern_View.j
 pg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Richmond_Olympic_Oval_intern_View.jpg)

I.3.2 ESTRUCTURA DE LA MADERA

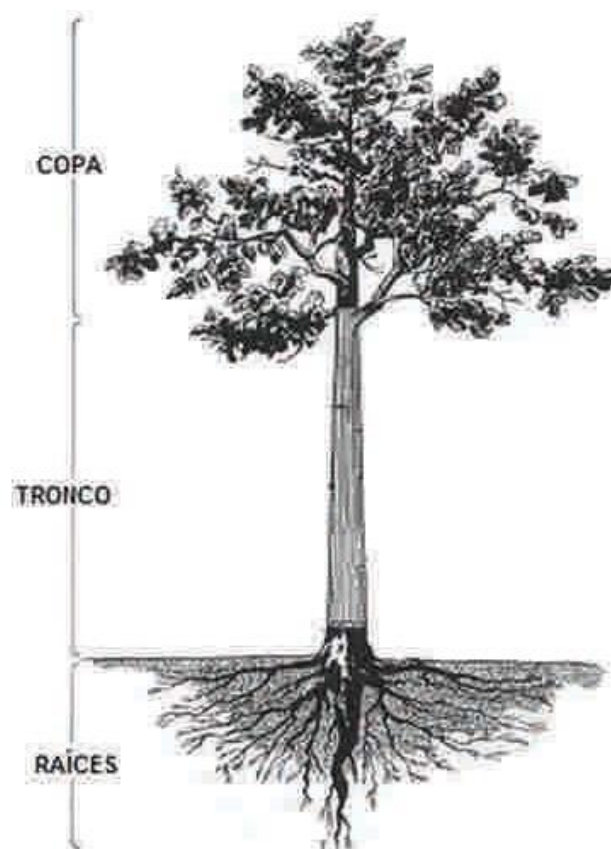


Figura 1: Secciones de un árbol: copa, tronco y raíces.
 Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA

Al hacer un corte transversal de un árbol y analizar desde el exterior hacia el interior una sección de éste, se pueden apreciar zonas claramente diferenciadas, las cuales cumplen funciones específicas:

- **La primera zona apreciable es la corteza**, formada por materia muerta, de aspecto resquebrajado, que se divide en corteza exterior y corteza interior (floema).

La corteza exterior está compuesta por células muertas que cumplen la función de proteger la estructura interior frente a agentes climáticos y biológicos.

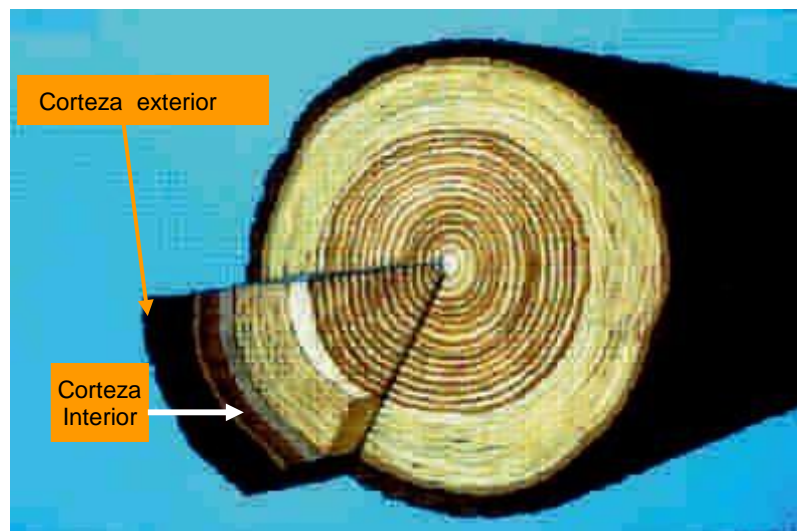


Figura 2: Sección transversal de un tronco en que se muestra la corteza exterior y la corteza interior o floema.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA

- Siguiendo hacia dentro se encuentra la **corteza interior**, compuesta por células que trasladan savia elaborada.
- Luego se presenta el **cambium o cambio**, zona que corresponde al tejido generador de células, es decir, donde se produce el crecimiento del árbol. Hacia el interior forma el xilema y hacia el exterior, forma el floema.
- En el **xilema** podemos distinguir la albura hacia el exterior, con células que cumplen la función de sostén y traslado de agua y nutrientes.

- Hacia el interior del xilema se forma el **duramen**, compuesto por células inactivas, pero que mantienen la función de sostén.
- En el centro del árbol se encuentra **la médula**, tejido inactivo sin función específica. Otra de las características relevantes del árbol en su sección transversal son los denominados anillos de crecimiento (concéntricos), los cuales son apreciables a simple vista, dependiendo de la especie.
- Las especies madereras, se clasifican en dos grandes grupos: **coníferas y latifoliadas**: En las coníferas, los anillos de crecimiento son perfectamente diferenciados, mientras que en las secundarias, no son tan apreciables.

En las coníferas se pueden apreciar dos bandas concéntricas, diferenciadas en los anillos de crecimiento.

La banda más clara es denominada madera de primavera o temprana. La banda más oscura, más densa que la de primavera, es la madera de verano o tardía. En esta última, al llegar el receso invernal puede observarse la reducción de su crecimiento.

I.3.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA.

La madera está constituida por los siguientes elementos:

- Carbono (C) 49%;
- Hidrógeno (H) 6%;
- Oxígeno (O) 44%;
- Nitrógeno (N) y minerales 1%.

La combinación de estos elementos forma los siguientes componentes de la madera:

- Celulosa (40 – 60 %),
- Hemicelulosa (5 – 25 %) y la lignina (20 – 40 %).

Fuente:

** Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Por: Junta del Acuerdo de Cartagena. PADTREFORT, 1984.*

I.3.4 CARACTERISTICAS DE LA MADERA PINUS RADIATA.

I.3.4.1 LAS CONÍFERAS.

La madera de coníferas está constituida esencialmente por células de características homogéneas, del grupo traqueidas, las cuales realizan la doble función de sostén del árbol y conducción de la savia.

Las especies pertenecientes a este grupo presentan un tronco recto, cónico hasta su ápice (extremo superior) y revestido de ramas.

Según el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, la Junta del Acuerdo de Cartagena, indica las siguientes características de las confieras.

Son árboles con el tronco generalmente recto, cónico hasta su ápice y revestido por las ramas cuya madera es homogénea constituida por células que se agrupan en bandas concéntricas las cuales conforman los anillos de crecimiento, las hojas son resistentes y generalmente verdes durante todo el año, son de consistencia dura y en forma de aguja, a estos árboles se les conoce como resinosos porque sus hojas y tallo segregan resina, los órganos reproductores de las confieras están constituidos por pseudo flores, que son elementos escamosos reunidos en conjuntos a modo de espigas coloreadas, los frutos contienen las semillas y tienen la forma de cono.

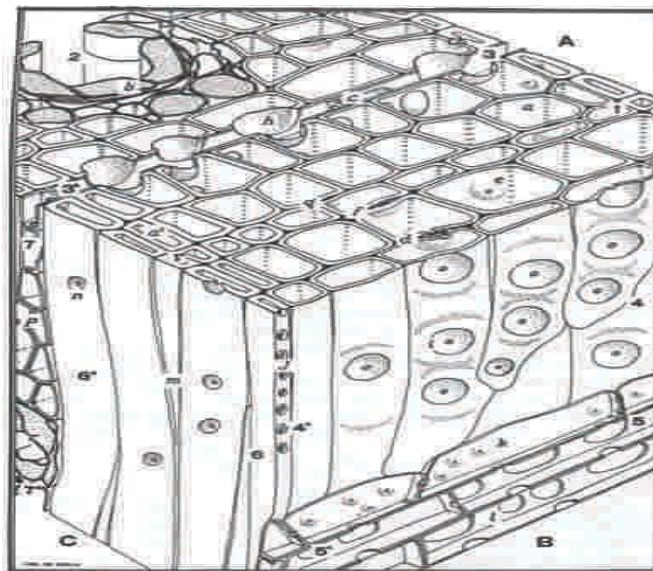


Figura 3: Estructura anatómica de una conífera.

Fuente:

** Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Por: Junta del Acuerdo de Cartagena. PADTREFORT, 1984.*

I.3.5 EL PINUS RADIATA.

I.3.5.1 NOMBRE CIENTÍFICO: Pinus radiata D. Don.

I.3.5.2 NOMBRE(S) COMÚN(ES)

Pino Candelabro, Pino (Col.); Pino Insigne (Ecu.); Pino Insigne, Pino de Monterrey (Bol.); Pino Insigne (Perú, Chile, Arg.); Monterrey Pine (EE.UU.); Pino radiata (Perú).

I.3.6 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

Especie originaria de Monterrey, región ubicada dentro de las costas Californianas, en los Estados Unidos. Fuera de su distribución natural ha sido plantada con buenos resultados en Victoria (Canadá), Brasil, Uruguay, Argentina, Perú, Ecuador, Bolivia, Australia, Nueva Zelanda, Inglaterra y España.

I.3.6.1 ASPECTOS SOBRESALIENTES DEL ÁRBOL.

Es un árbol elevado que llega fácilmente a los 30m, si bien su altura media se puede cifrar en los 20m., **I.3.6** una altura hasta de 60 m. y más de 1 m. de diámetro. Tronco cónico, recto, con un sistema reticular potente, con raíces laterales bien desarrolladas y muy extendidas. La corteza interna de color crema rosácea, segrega una resina transparente. Presenta flores en forma de conos y agrupadas. El fruto es un cono leñoso, grande parecido a una piña. Crece en las formaciones vegetales bosque húmedo o muy húmedo montano bajo (bmh-MB) y en plantaciones puras.

I.3.6.2 CARACTERÍSTICAS EXTERNAS DE LA MADERA.

Albura de color blanco, con transición gradual a duramen de color amarillo pálido, aumentando su intensidad a marrón muy pálido, Olor característico de madera resinosa, fragante cuando está fresca. Sabor ausente o no distintivo, brillo mediano, grano recto, textura fina, veteado suave con líneas longitudinales oscuras.

I.3.6.3 SECADO.

Seca fácil y lentamente al aire libre presentando deformaciones leves. Se recomienda como horario de secado, el programa K del Reino Unido y el M de la Junta del Acuerdo de Cartagena.

Según el PADT-REFORT (Junta de Cartagena) en el “Manual De Diseño Para Maderas Del Grupo Andino”; los resultados de secado al aire se expresan en función del tiempo de secado hasta que el contenido de humedad final sea de 20%. Se distinguen especies de secado muy rápido (MR), rápido R, moderado (M) y lento (L). Los tiempos aproximado de secado para los sitios y condiciones que se indican son:

Velocidad secado	Lima (en galpón)
MR	<30
R	31-53
M	54-110
L	>110
D.B. prom.	0.56

Cuadro 2: Tiempo aproximado de secado (días) para madera de densidad básica (D.B) promedio y CH inicial entre 60 – 70 por ciento (según el PADT-REFORT).

Así mismo, el mismo manual en su Tabla 2.3, presenta un resumen del comportamiento al secado de las especies estudiadas en la sub región. Se indican los defectos que aparecen en mayor proporción sólo como una guía práctica para tomar precauciones, sin que ello necesariamente signifique que constituya un problema serio.

Especie	País	Aire	Horno	Defectos principales secado en horno.
77. Pino Insigne.	Perú.	Secado Rápido.	Programa fuerte para maderas de secado fácil, “A”.	Torcedura- Arqueadura.

Cuadro 3: Manual De Diseño Para Maderas Del Grupo Andino; relativo al comportamiento al secado de maderas.

I.3.6.4 DURABILIDAD NATURAL.

Es poco resistente al ataque de hongos e insectos, posee una duración en uso exterior menor a 5 años.

I.3.6.5 PRESERVACIÓN.

Este tipo de madera es muy fácil de tratar mediante los sistemas vacío - presión o inmersión y Boucherie.

I.3.6.6 TRABAJABILIDAD.

Es fácil de trabajar con herramientas manuales y en las diferentes operaciones de maquinado.

I.3.6.7 USOS.

La madera de Pino radiata puede tener los siguientes usos: Construcción pesada, postes de transmisión, estructura para construcción de: puentes, vigas, techos, cerchas, pisos, revestimientos exteriores revestimientos interiores, muebles y guarniciones interiores, embalajes, moldajes o encofrados, chapas, contrachapados, pulpa mecánica, pulpa química (celulosa), tableros de fibra, tableros de partículas. Como madera preservada los usos se amplían.

I.3.7 LA MADERA Y SUS PROPIEDADES

La madera elaborada a través de un proceso de aserrío se denomina pieza de madera y posee propiedades definidas.

I.3.7.1 PROPIEDADES BÁSICAS



Independientemente de la especie, la madera puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico.

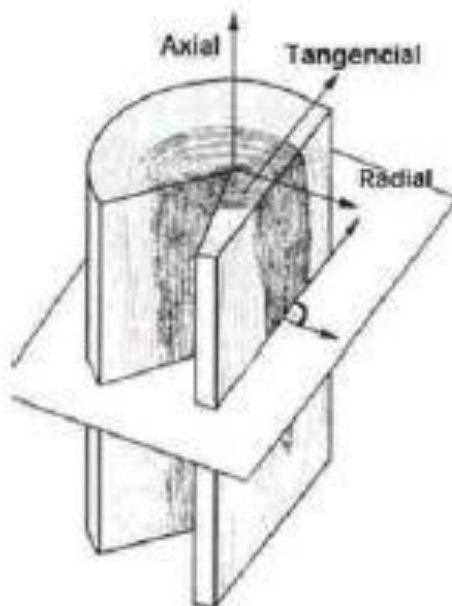
Foto 2 : Aserradero Automatizado donde la madera es dimensionada.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

- **Es un material biológico**, ya que está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina. Siendo madera elaborada, puede ser biodegradada por el ataque de hongos e insectos taladradores, como son las termitas. Por ello, a diferencia de otros materiales inorgánicos (ladrillo, acero y hormigón, entre otros), la madera debe tener una serie de consideraciones de orden técnico que garanticen su durabilidad en el tiempo (preservación).
- **La madera es un material anisotrópico**. Según sea el plano o dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento, el comportamiento tanto físico como mecánico del material, presenta resultados dispares y diferenciados. Para tener una idea de cómo se comporta, la madera resiste entre 20 y 200 veces más en el sentido del eje del árbol, que en el sentido transversal.

Debido a este comportamiento estructural tan desigual, se ha hecho necesario establecer:

1. **El eje tangencial**, como su nombre lo indica, es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal de la pieza.



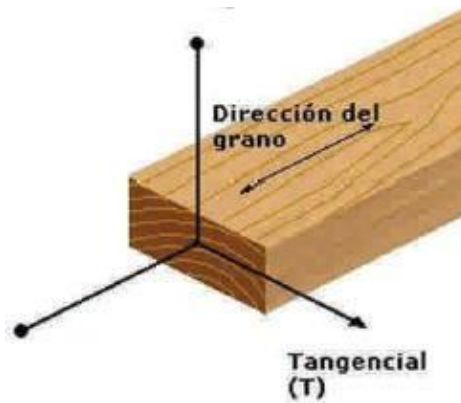


Figura 4: Eje tangencial en una pieza de madera.
Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

2. **El eje radial** es perpendicular a los anillos de crecimiento y al eje longitudinal.

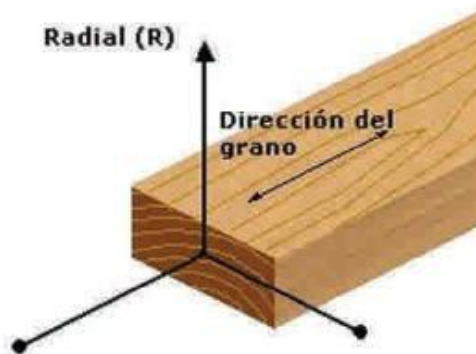


Figura 5: Eje radial en una pieza de madera.
Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

3. **El eje longitudinal** es paralelo a la dirección de las fibras y por ende, al eje longitudinal del tronco. Forma una perpendicular respecto al plano formado por los ejes tangencial y radial.

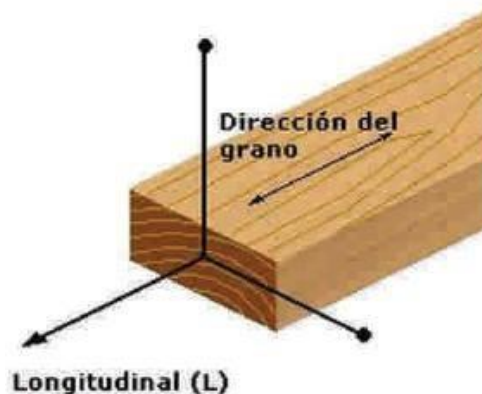


Figura 6: Eje longitudinal en una pieza de madera.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

La madera es un material higroscópico. Tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera.

I.3.8 PROPIEDADES FÍSICAS

I.3.8.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

La estructura de la madera almacena una importante cantidad de humedad. Esta se encuentra como agua ligada (savia embebida) en las paredes celulares y como agua libre, en el interior de las cavidades celulares.

Para determinar la humedad en la madera, se establece una relación entre masa de agua contenida en una pieza y masa de la pieza anhidra, expresada en porcentaje. A este cociente se le conoce como **contenido de humedad**, cuya fórmula se expresa de la siguiente manera:

Donde:

$$\% \text{ Contenido de Humedad} = \frac{\text{Peso del Agua} \times 100}{\text{Peso de Madera Seca en Horno}}$$

$$\text{Peso del Agua} = \text{Peso Madera Húmeda} - \text{Peso Madera Seca en Horno}$$

Fórmula N° 1: Cálculo del contenido de humedad de la madera.

El agua contenida en el interior de la madera, sea en forma natural o por estar expuesta a condiciones del medio ambiente, puede variar principalmente debido a la humedad y temperatura predominantes en el lugar donde se utiliza. Al cortar un árbol, la madera contiene gran volumen de agua en sus cavidades y paredes celulares, humedad que oscila alrededor del 80%. En algunos casos, puede ser superior al 100%, es decir, el peso del agua contenida en el volumen de madera es superior al peso de ésta anhidra.

Dependiendo de las condiciones ambientales, la madera entrega al medio agua libre contenida en sus cavidades, y luego agua adherida por capilaridad a las paredes celulares.

Cuando el intercambio de humedad que produce el medio ambiente cesa, se dice que la madera ha alcanzado un punto denominado humedad de equilibrio. Se denomina, entonces, humedad de equilibrio al porcentaje de agua que alcanza una madera sometida durante un lapso determinado a condiciones de temperatura y humedad en su medio ambiente.

Los cambios climáticos del aire que se suceden continuamente, día y noche según las estaciones, hacen que la humedad de la madera también cambie, aunque en valores pequeños.

Kollmann (1959) comprobó que la humedad de equilibrio es casi constante para todas las maderas, y elaboró un ábaco para determinar este valor. O sea, cuando la madera es sometida a un ambiente saturado de humedad (100% de humedad relativa del aire), la humedad de equilibrio es casi constante para todas las maderas, alcanzando un valor máximo de 30%.

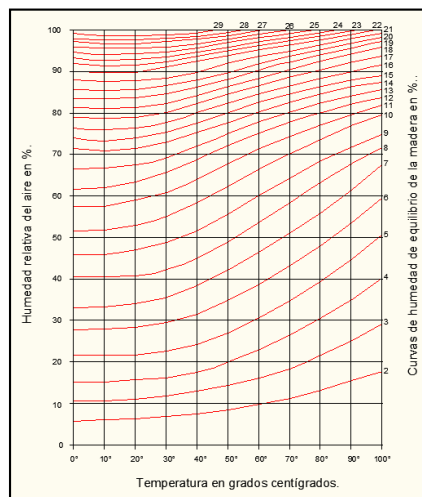


Figura 7: Curvas de humedad de equilibrio de la madera.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

Dicha condición se produce en casi todas las especies cuando el agua libre ha sido entregada al ambiente, permaneciendo con agua sólo las paredes celulares.

A este punto de humedad se le denomina punto de saturación de la fibra (PSF).

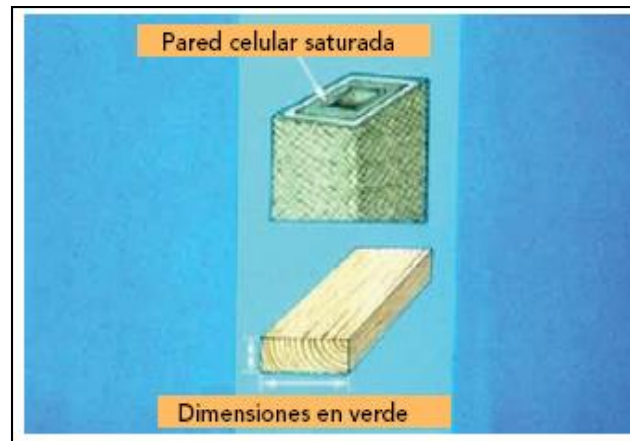


Figura 8: Punto de saturación de la fibra, PSF.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

Desde este punto porcentual y sobre él, la madera tiene las dimensiones de la madera verde.

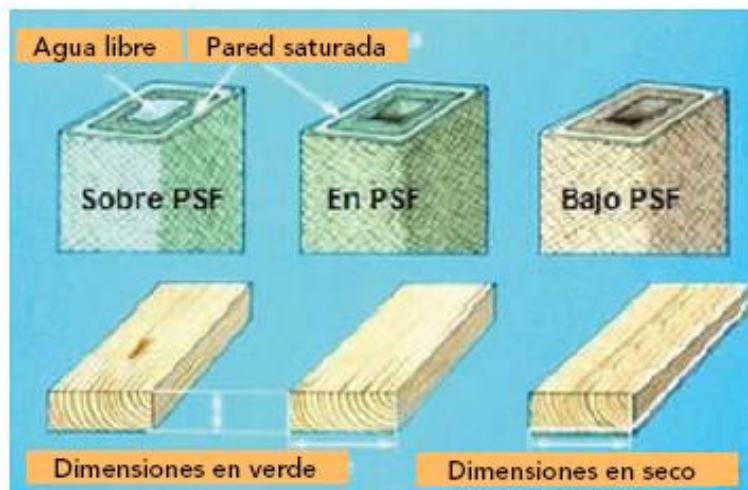


Figura 9: Madera sobre el PSF. Presencia de agua libre y agua ligada.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

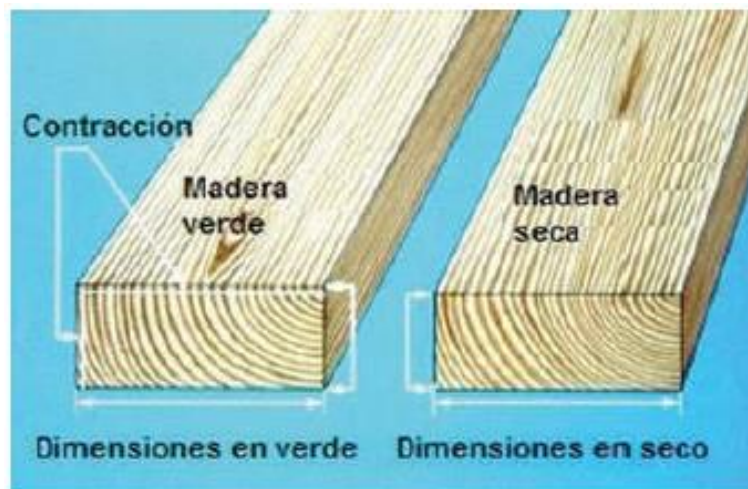
Cuando la madera tiene un contenido de humedad bajo (el punto de saturación de las fibras es menor al 30%), se habla de madera seca. Sin embargo, para ser utilizada como material de construcción, y específicamente con fines estructurales, el contenido de humedad debe ser inferior al 15%.



Figura 10: Madera seca. La contracción se inicia.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

I.3.8.2 CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN DE LA MADERA.



El secado de la madera por debajo del punto de saturación de la fibra, provoca pérdida de agua en las paredes celulares, lo que a su vez produce contracción de la madera. Cuando esto ocurre se dice que la madera “trabaja”.

Figura 11: Madera verde y madera seca.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

Las dimensiones de la madera comienzan a disminuir en los tres ejes anteriormente descritos: tangencial, radial y longitudinal. Sin embargo, en este proceso la contracción tangencial es mayor.

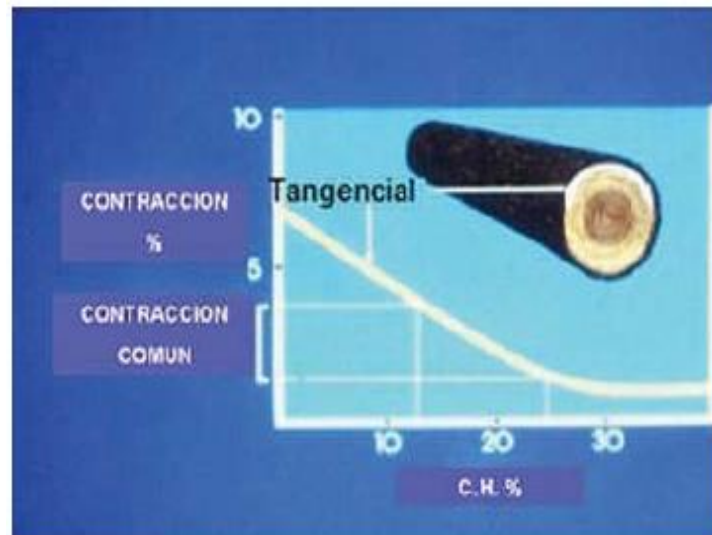


Figura 12: El gráfico muestra la magnitud de la contracción tangencial y el sentido en el tronco.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

A la contracción tangencial le sigue la radial, con menos efecto, pero significativo en la deformación de la pieza.

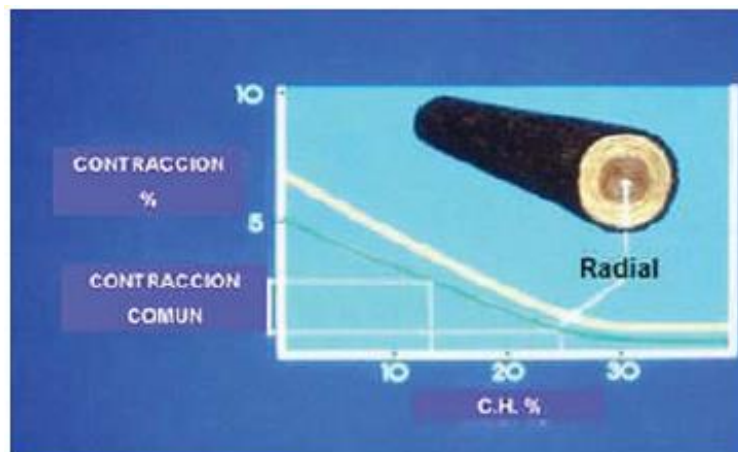


Figura 13: El gráfico muestra la magnitud de la contracción radial y el sentido en el tronco.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

La contracción longitudinal es prácticamente despreciable en madera utilizada con fines estructurales.

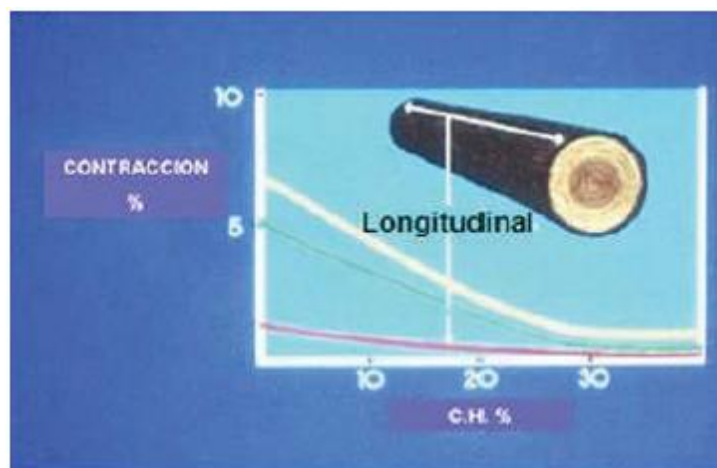


Figura 14: Gráfico que muestra la proporción de la contracción de la madera en su eje longitudinal.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

Desde el punto de vista del comportamiento de la madera, el punto de saturación de la fibra es una variable muy importante, puesto que sobre él, la madera no variará sus características ni su comportamiento físico o mecánico.

Sin embargo, cuando la madera se encuentra bajo dicho punto, sufre cambios dimensionales y volumétricos que pueden ir de leves a drásticos.

Las consecuencias de dicho proceso en beneficio de las propiedades resistentes de la madera, dependerán de las condiciones y método de secado aplicado (al aire o en cámara).

La contracción por secado provoca deformaciones en la madera. Sin embargo con un adecuado método, los efectos son beneficiosos sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera.



Figura 15: Efectos de la contracción en la madera.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

Para efectos de la presente Tesis, estudiaremos las siguientes clases de contracción:

I.3.9 CONTRACCIÓN NORMAL.

Es la contracción que sufre la madera cuando pasa del estado verde al estado seco al aire y de acuerdo a los tres ejes de la madera tenemos:

- **Contracción Tangencial Normal.** Que es la que se da en dirección Tangencial y se lo calcula utilizando la siguiente fórmula.

Donde:

$$C_{tn} = \frac{dvt (CH \geq 30\%) - dst (CH = 12\%)}{dvt (CH \geq 30\%)} \times 100 (\%)$$

C_{tn}: Contracción Tangencial Normal.

dvt: Dimensión tangencial de la probeta en estado verde (CH ≥ 30%).

dst: Dimensión tangencial de la probeta en estado seco al aire (CH = 12%).

Fórmula 2: Cálculo de la Contracción Tangencial Normal.

- **Contracción Radial Normal.** Que es la que se da en dirección Radial y se lo calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$C_{rn} = \frac{dvr (CH \geq 30\%) - dsr (CH = 12\%)}{dvr (CH \geq 30\%)} \times 100 (\%)$$

Donde:

C_{rn}: Contracción Radial Normal.

dsr: Dimensión radial de la probeta en estado verde (CH ≥ 30%).

dvr: Dimensión radial de la probeta en estado seco al aire (CH = 12%).

Fórmula 3: Cálculo de la Contracción Radial Normal.

- **Contracción Longitudinal Normal.** Que es la que se da en dirección Longitudinal y se lo calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$C_{ln} = \frac{dvl (CH \geq 30\%) - dsl (CH = 12\%)}{dvl (CH \geq 30\%)} \times 100 (\%)$$

Donde:

C_{ln}: Contracción Longitudinal Normal.

dvl: Dimensión longitudinal de la probeta en estado verde (CH ≥ 30%).

dsl: Dimensión longitudinal de la probeta en estado seco al aire (CH = 12%).

Fórmula 4: Cálculo de la Contracción Longitudinal Normal.

- **Contracción Volumétrica Normal.** Que es la determinación de la contracción normal en sus tres direcciones simultáneamente (Tangencial, Radial y Longitudinal) y se lo calcula utilizando la siguiente fórmula.

Donde:

$$C_{vn} = C_{tn} + C_{rn} + C_{ln} (\%)$$

C_{vn}: Contracción Volumétrica Normal.

C_{tn}: Contracción Tangencial Normal.

C_{rn}: Contracción Radial Normal.

C_{ln}: Contracción Longitudinal Normal.

Fórmula 5: Cálculo de la Contracción Volumétrica Normal.

I.3.10 CONTRACCIÓN TOTAL.

Es la contracción que sufre la madera cuando pasa del estado verde al estado anhidro y de acuerdo a los tres ejes de la madera tenemos:

- **Contracción Tangencial Total.** Que es la que se da en dirección Tangencial y se lo calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$C_{tt} = \frac{d_{vt} - d_{sht}}{d_{vt}} \times 100 (\%)$$

Donde:

C_{tn}: Contracción Tangencial Total.

d_{vt}: Dimensión tangencial de la probeta en estado verde.

d_{st}: Dimensión tangencial de la probeta anhidra (CH = 0%).

Fórmula 6: Cálculo de la Contracción Tangencial Normal.

- **Contracción Radial Total.** Que es la que se da en dirección Radial y se lo calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$C_{rt} = \frac{d_{vr} - d_{shr}}{d_{vr}} \times 100 (\%)$$

Donde:

C_{rt}: Contracción Radial Total.

d_{sr}: Dimensión radial de la probeta en estado verde .

dvr: Dimensión radial de la probeta anhidra (CH = 0%).

Fórmula 7: Cálculo de la Contracción Radial Total.

- **Contracción Longitudinal Total.** Que es la que se da en dirección Longitudinal y se lo calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$Cl_t = \frac{dvl - dshl}{dvl} \times 100 (\%)$$

Donde:

Cl_t: Contracción Longitudinal Total.

dvl: Dimensión longitudinal de la probeta en estado verde.

dshl: Dimensión longitudinal de la probeta anhidra (CH = 0%).

Fórmula 8: Cálculo de la Contracción Longitudinal Total.

- **Contracción Volumétrica Total.** Que es la determinación de la contracción total en sus tres direcciones simultáneamente (Tangencial, Radial y Longitudinal) y se lo calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$Cv_t = Ctt + Crt + Cl_t (\%)$$

Donde:

Cv_t: Contracción Volumétrica Total.

Ct_t: Contracción Tangencial Total.

Cr_t: Contracción Radial Total.

Cl_t: Contracción Longitudinal Total.

Fórmula 9: Cálculo de la Contracción Volumétrica Total.

I.3.11 DENSIDAD DE LA MADERA.

Como se sabe, la densidad de un cuerpo es el cociente entre la masa y el volumen.

Sin embargo para la fuente bibliográfica del presente estudio esta propiedad física se define como el cociente entre el peso y su volumen.

En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad. Esta es una de las características físicas más

importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera.

Según el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, se pueden distinguir cuatro densidades para una misma muestra de madera:

I.3.11.1 Densidad Verde (DV). Es la relación que existe entre el peso verde (PV) y el volumen verde (VV), se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$DV = \frac{PV}{VV}$$

Donde:

DV: Densidad verde.

PV: Peso de la probeta en estado verde.

VV: Volumen de la probeta en estado verde.

Fórmula 10: Cálculo de la Densidad Verde.

I.3.11.2 Densidad Seca al Aire (DSA). Es la relación que existe entre el peso seco al aire (PSA) y el volumen seco al Aire (VSA), se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$DSA = \frac{PSA}{VSA}$$

Donde:

DSA: Densidad seca al aire.

PSA: Peso de la probeta seca al aire.

VSA: Volumen de la probeta seca al aire.

Fórmula 11: Cálculo de la Densidad Seca al Aire.

I.3.11.3 Densidad Anhidra (DA). Es la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen seco al horno (VSH, se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$DA = \frac{PSH}{VSH}$$

Donde:

DA: Densidad anhidra.

PSH: Peso de la probeta seca al horno.

VSH: Volumen de la probeta seca al horno.

Fórmula 12: Cálculo de la Densidad Anhidra.

I.3.11.4 La Densidad Básica (DB). Es la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen verde (VV). Es la menor de las cuatro, sin embargo es la más importante porque nos permite clasificar estructuralmente a la madera estudiada. Se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$DB = \frac{PSH}{VV}$$

Donde:

DB: Densidad básica.

PSH: Peso de la probeta seca al horno.

VV: Volumen de la probeta en estado verde.

Fórmula 13: Cálculo de la Densidad Básica.

I.3.12 PROPIEDADES MECÁNICAS Y ELÁSTICAS.

Las propiedades mecánicas describen como se comporta un material cuando se les aplican fuerzas externas. La mayoría de materiales se comporta elástica y linealmente en las primeras etapas de carga, lo que es de gran importancia en ingeniería, ya que mediante el diseño de estructuras que funcionen en esa región evitamos deformaciones permanentes debido al flujo plástico.

I.3.12.1 DEFINICIONES.

- **Fuerzas en Tensión.** Son las fuerzas aplicadas que intentan estirar al material a lo largo de su línea de acción.



Figura N°

- **Fuerzas en Compresión.** Son las fuerzas aplicadas que intentan comprimir o acortar al material a lo largo de su línea de acción.



Figura N°17

- **Fuerza en cortante.** Son las fuerzas que se aplican de tal forma que intentan cortar o seccionar al material.

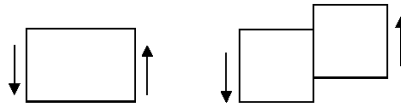


Figura N° 18.

- **Fuerzas en torsión.** Es la fuerza externa aplicada que intenta torcer al material. La fuerza externa recibe el nombre de torque o momento de torsión.

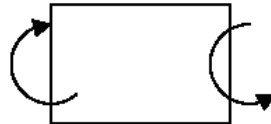


Figura N° 19.

- **Esfuerzo.** Para estudiar la reacción de los materiales a las fuerzas externas que se les aplican, se utiliza el concepto de esfuerzo:

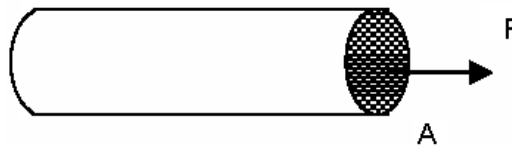


Figura N° 20.

$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{Fuerza Aplicada}}{\text{Área sobre la cuál se aplica la fuerza.}} \quad \text{---} \rightarrow \text{Formula 14.}$$

El esfuerzo tiene las mismas unidades que la presión, es decir, unidades de fuerza por unidad de área. En el sistema métrico, el esfuerzo se mide en Pascales (N/m²). En el sistema inglés, en psi (libras/pulgada²). En aplicaciones de Ingeniería Civil, es muy común expresar el esfuerzo en unidades Kg/cm².

- **Deformación.** Cualquier fuerza externa que se aplique sobre un material causa deformación. La deformación del material se define como el cambio en la longitud a lo largo de la línea de aplicación de la fuerza. En forma matemática:

$$\boxed{\text{Deformación} = \Delta L = L_f - L_o} \quad \text{-----} \rightarrow \text{Formula 15.}$$

Donde:

ΔL : Deformación total.

L_f : Longitud final.

L_o : Longitud inicial.

- **Deformación Unitaria (ϵ).** Otros nombres son deformación unitaria nominal ó deformación unitaria convencional y se define como la deformación total (ΔL) dividida entre la longitud inicial (L_0) del material.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{-----} \rightarrow \text{Formula 16.}$$

El esfuerzo verdadero es mayor que el esfuerzo ingenieril y la deformación unitaria verdadera es menor que la deformación unitaria ingenieril. Sin embargo para la mayoría de los fines de ingeniería, el esfuerzo y la deformación unitaria ingenieril son adecuadas (Timoshenko, Resistencia de Materiales, 5° edición).

- **Diagrama Esfuerzo - Deformación Unitaria.** Suponiendo que al inicio la fuerza aplicada es cero y luego su magnitud se incrementa gradualmente hasta que se rompe. Suponga que cada tiempo se grafica el esfuerzo aplicado contra la deformación unitaria del material. A ésta gráfica se le llama diagrama esfuerzo-deformación unitaria, y sirve para entender el comportamiento mecánico del material del elemento estudiado.

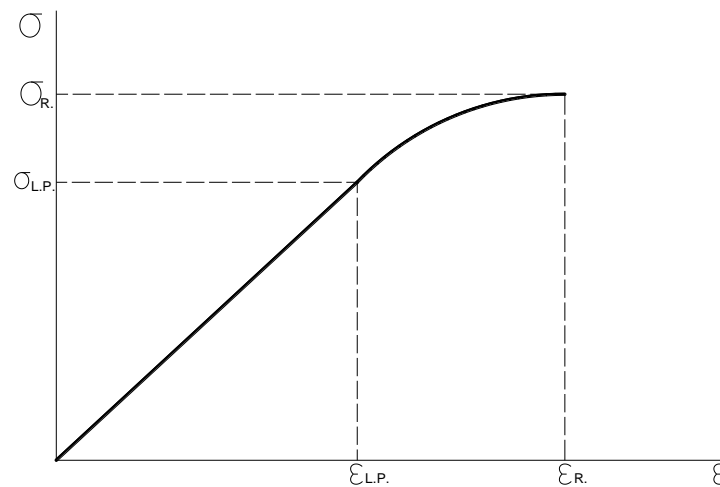


Figura 21: Gráfica Esfuerzo – Deformación Unitaria.

Fuente: Timoshenko, Resistencia de Materiales, 5° edición

De la curva esfuerzo-deformación unitaria se obtienen varias propiedades mecánicas del material y hablando específicamente de la madera son:

- Esfuerzo al límite proporcional elástico.
- Módulo de elasticidad.
- Esfuerzo de rotura u esfuerzo último.

Se entiende por fuerza externa cualquier sollicitación que, actuando exteriormente, altere su tamaño, dimensión o la deforme.

El conocimiento de las propiedades mecánicas y elásticas de la madera se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida.

El esfuerzo que soporta un cuerpo por unidad de superficie es la llamada esfuerzo unitario ó tensión unitaria.

Cuando la carga aplicada a un cuerpo aumenta, se produce una deformación que se incrementa paulatinamente. Esta relación entre la carga aplicada y la deformación que sufre un cuerpo se puede representar gráficamente por una recta (*Figura 22*), hasta el punto donde se inicia el límite elástico del material ensayado. Si se sigue aumentando la carga, se logra la rotura del material.

El límite elástico se define como el esfuerzo por unidad de superficie, en que la deformación comienza a aumentar en mayor proporción que la carga que se aplica.

El esfuerzo necesario para solicitar un material hasta el límite elástico, determina **“El Esfuerzo al Límite Proporcional Elástico”** o también conocido como tensión en el límite de proporcionalidad, que es la carga máxima a que se puede someter sin que se produzcan deformaciones permanentes.

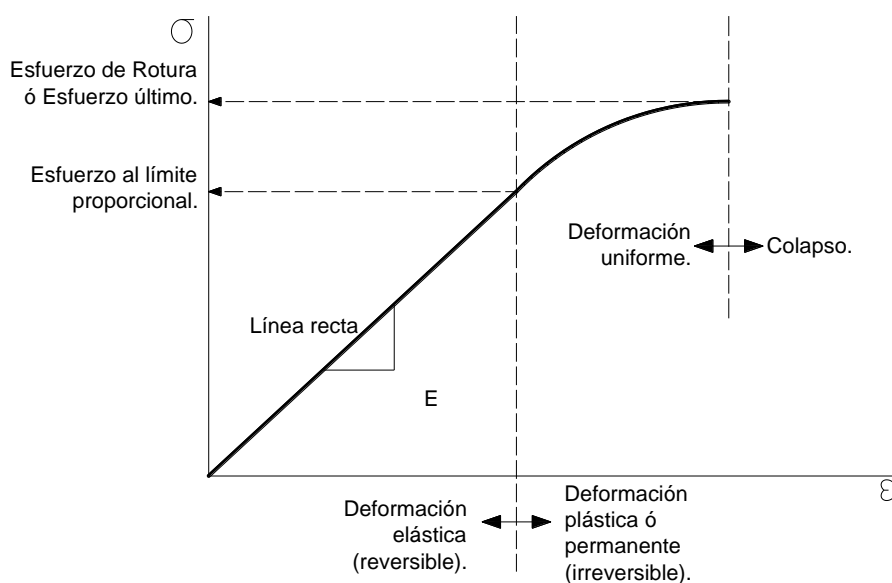


Figura 22: Gráfica Esfuerzo – Deformación Unitaria.

Fuente: Timoshenko, Resistencia de Materiales, 5° edición

La rigidez de un cuerpo se define como la propiedad que tiene para resistir la deformación al ser solicitado por fuerzas externas. La medida de rigidez de la madera se conoce como **“Módulo de Elasticidad”** o coeficiente de elasticidad, calculado por la razón entre esfuerzo por unidad de superficie y deformación por unidad de longitud ó *deformación unitaria (manual Corma)*. Complementando lo anterior, la Ley de Hooke se define como la relación lineal entre el esfuerzo y la deformación lineal en una barra sometida a tracción o compresión simple.

$$\sigma = E \varepsilon \text{ ----- } \rightarrow \text{Formula 17. (Ley de Hooke)}$$

En donde σ es el esfuerzo normal, ε es la deformación lineal y **E** es una **constante de proporcionalidad llamada módulo de elasticidad del material**. El módulo de elasticidad es la pendiente del diagrama esfuerzo deformación en la región elástica lineal y como la deformación es adimensional, las unidades del módulo de elasticidad son las mismas que las unidades del esfuerzo **(Timoshenko, Resistencia de Materiales, 5° edición)**.

En consecuencia de lo anterior y despejando “formula 20” tenemos:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ ----- } \rightarrow \text{Formula 18. (de la Ley de Hooke)}$$

Cuando la carga resulta mayor a la del límite elástico, la pieza continúa deformándose hasta llegar a colapsar, obteniendo **“El Esfuerzo de Rotura”**, esfuerzo último o tensión de rotura de la pieza de madera.

Cuando la madera se encuentra en servicio se ve afectada por una serie de factores los cuales influyen directamente en sus propiedades de resistencia, por lo cual para efectos de diseño y seguridad se modifican las resistencias últimas mínimas de la madera “afectándolas con factores de reducción”; a ésta resistencia modificada se le denomina **“Esfuerzo Admisible ó de Trabajo ó de Diseño”**, cuya fórmula general según el PADT- REFORT es como se muestra a continuación:

$$\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma R$$

Donde

σR = Esfuerzo último.

F.C. = Factor de reducción por calidad.

F.T. = Factor de reducción por tamaño.

F.S. = Factor de servicio y seguridad.

F.D.C.= Factor de duración de carga.

Fórmula 19: Esfuerzo admisible ó de Trabajo o de diseño.

Así mismo el PADT-REFORT de manera experimental ha obtenido los siguientes valores para los diferentes coeficientes de seguridad:

	Tracción	Flexión	Compresión Paralela	Corte Paralelo	Compresión Perpendicular
F.C.	0.80	0.80	—	—	—
F.T.	0.90	0.90	—	—	—
F.S.	2.00	2.00	1.60	4.00*	1.60
F.D.C.	1.15	1.15	1.25	—	—

* Incluye factor por concentración de esfuerzos =2.

Cuadro 4: Valores establecidos para los Factores de la Formula de Esfuerzo admisible, de trabajo o de diseño.

Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Por: Junta del Acuerdo de Cartagena. PADT-REFORT, 1984.

Los ensayos para determinar las propiedades mecánicas y elásticas de la madera tipo Pinus Radiata, tomados en cuenta para la presente tesis son:

I.3.13 COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA.

Es la resistencia de la madera a una carga en dirección paralela a las fibras, la que se realiza en columnas cortas para determinar el esfuerzo de rotura, esfuerzo al límite de proporcionalidad, esfuerzo de trabajo y módulo de elasticidad.



Figura 23: Esquema de ensayo de compresión paralela a las fibras.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

La madera se somete a esfuerzos de compresión paralela cuando se la utiliza como pilotes, columnas, barras internas o cerchas, etc. Su comportamiento ante este tipo de esfuerzos es considerado dentro de su estado elástico; es decir mientras tenga la capacidad de recuperar su dimensión inicial una vez retirada la fuerza.

- **FORMULAS DE CÁLCULO.**

Para calcular las diferentes propiedades mecánicas de la madera, cuando ésta resiste fuerzas en compresión, en dirección paralela a la fibra; se aplican las siguientes fórmulas:

1. Deformación Unitaria.

$$\boxed{DU = \frac{DT}{H}} \text{ -----} \rightarrow \text{Fórmula 20.}$$

Donde:

DU: Deformación unitaria.

DT: Deformación total, en (mm).

H : Altura de la probeta en dirección de la carga, en (mm).

2. Esfuerzo.

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ ----- } \rightarrow \text{Fórmula 21.}$$

Donde:

σ : Esfuerzo, en Kg./Cm².

P : Carga, en Kg.

A : Área de la sección de la probeta, en Cm².

3. Esfuerzo al límite proporcional elástico.

$$\sigma L = \frac{PL}{A} \text{ ----- } \rightarrow \text{Fórmula 22.}$$

Donde:

σL : Esfuerzo al límite proporcional elástico, en Kg./cm².

PL: Carga al límite proporcional elástico, en Kg.

A : Área de la sección de la probeta, en cm².

4. Esfuerzo de rotura.

$$\sigma R = \frac{PR}{A} \text{ ----- } \rightarrow \text{Fórmula 23.}$$

Donde:

σR : Esfuerzo de rotura, en Kg./cm².

PR: Carga de rotura, en Kg.

A : Área de la sección de la probeta, en cm².

5. Módulo de elasticidad.

$$MOE = \frac{\sigma L}{DU} \text{ ----- } \rightarrow \text{Fórmula 24.}$$

Donde:

MOE: Módulo de elasticidad, en Kg./Cm².

σL : Esfuerzo al límite proporcional elástico, en Kg./cm².

DU : Deformación unitaria (correspondiente al límite proporcional elástico).

$$\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma R \quad \text{-----} \rightarrow \text{Fórmula 25.}$$

6. Esfuerzo Admisible.

Donde

σR = Esfuerzo último.

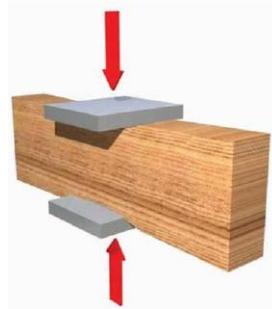
F.C = Factor de reducción por calidad (Ver cuadro 4).

F.T. = Factor de reducción por tamaño (Ver cuadro 4).

F.S. = Factor de servicio y seguridad (Ver cuadro 4).

F.D.C.= Factor de duración de carga (Ver cuadro 4).

I.3.14 COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA.



Es la resistencia de la madera a una carga en dirección normal a las fibras, aplicada en una cara radial, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad y tensión máxima.

Figura 24: Esquema de ensayo de compresión perpendicular a las fibras.
Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

La madera se somete a esfuerzos de compresión perpendicular cuándo se la utiliza en forma de soleras, durmientes, cubrejuntas de cerchas, etc. Bajo este tipo de carga las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje. Esto permite que se pueda cargar la madera sin que ocurra una falla claramente distinguible.

- **FORMULAS DE CÁLCULO.**

Para calcular las diferentes propiedades mecánicas de la madera, cuando ésta resiste fuerzas en compresión, en dirección perpendicular a la fibra; se aplican las siguientes fórmulas:

1. Deformación Unitaria.

Donde:
$$DU = \frac{DT}{H} \text{ --- } \rightarrow \text{Fórmula 26.}$$

DU: Deformación unitaria.

DT: Deformación total, en (mm).

H : Altura de la probeta en dirección de la carga, en (mm).

2. Esfuerzo.

Donde:
$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ --- } \rightarrow \text{Fórmula 27.}$$

σ : Esfuerzo, en Kg./Cm².

P : Carga, en Kg.

A : Superficie impresa sobre la probeta por la pieza de presión, en Cm².

3. Esfuerzo al límite proporcional elástico.

Donde:
$$\sigma L = \frac{PL}{A} \text{ --- } \rightarrow \text{Fórmula 28.}$$

σL : Esfuerzo al límite proporcional elástico, en Kg./Cm².

PL: Carga al límite proporcional elástico, en Kg.

A : Superficie impresa sobre la probeta por la pieza de presión, en Cm².

4. Esfuerzo de rotura.

No es posible determinar experimentalmente éste esfuerzo, por cuanto la falla en la probeta ocurre por corte, por efectos de la deformación, y no por efectos de la compresión.

5. Módulo de elasticidad.

Donde:
$$MOE = \frac{\sigma L}{DU} \text{ --- } \rightarrow \text{Fórmula 29.}$$

MOE: Módulo de elasticidad, en Kg./Cm².

σL : Esfuerzo al límite proporcional elástico, en Kg./Cm².

DU : Deformación unitaria (correspondiente al límite proporcional elástico).

6. Esfuerzo Admisible.

$$\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_L \quad \text{-----} \rightarrow \text{Fórmula 30.}$$

Donde

σ_L = Esfuerzo en el límite proporcional.

F.C = Factor de reducción por calidad (Ver Cuadro 4).

F.T. = Factor de reducción por tamaño (Ver Cuadro 4).

F.S. = Factor de servicio y seguridad (Ver Cuadro 4).

F.D.C.= Factor de duración de carga (Ver Cuadro 4).

I.3.15 TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.

Es la resistencia a una carga de tracción en dirección paralela a las fibras.

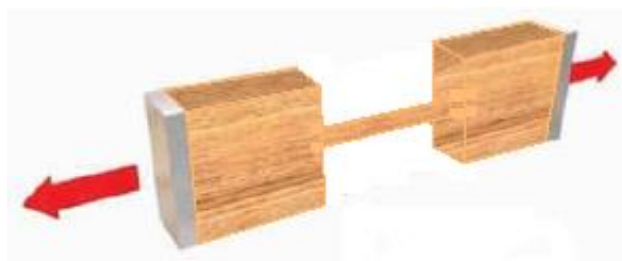


Figura 25: Esquema de ensayo de tracción paralela a las fibras.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

La resistencia a la tracción paralela es afectada significativamente por la dirección del grano, debido a que las uniones longitudinales entre fibras son de 30 a 40 veces más resistentes que las uniones transversales.

• FORMULAS DE CÁLCULO.

Para calcular las diferentes propiedades mecánicas de la madera, cuando ésta resiste fuerzas en tracción, en dirección paralela a la fibra; se aplican las siguientes fórmulas:

1. Deformación Unitaria.

Donde:

$$DU = \frac{DT}{H} \quad \text{-----} \rightarrow \text{Fórmula 31.}$$

DU: Deformación unitaria o esfuerzo de rotura.

DT: Deformación total, en (mm).

H : Altura de la sección efectiva de la probeta en dirección de la carga, en (mm).

2. Esfuerzo.

Donde:

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ ---- } \rightarrow \text{Fórmula 32.}$$

σ : Esfuerzo, en Kg./Cm².

P : Carga, en Kg.

A : Área de la sección efectiva de la probeta en tracción, en Cm².

3. Esfuerzo al límite proporcional elástico.

Donde:

$$\sigma L = \frac{PL}{A} \text{ ---- } \rightarrow \text{Fórmula 33.}$$

σL : Esfuerzo al límite proporcional elástico, en Kg./Cm².

PL: Carga al límite proporcional elástico, en Kg.

A : Área de la sección efectiva de la probeta en tracción, en Cm².

4. Esfuerzo de rotura.

Donde:

$$\sigma R = \frac{PR}{A} \text{ ---- } \rightarrow \text{Fórmula 34.}$$

σR : Esfuerzo de rotura, en Kg./Cm².

PR: Carga de rotura, en Kg.

A : Área de la sección efectiva de la probeta en tracción, en Cm².

5. Módulo de elasticidad.

$$MOE = \frac{\sigma L}{DU} \text{ ---- } \rightarrow \text{Fórmula 35.}$$

Donde:

MOE: Módulo de elasticidad, en Kg./Cm².

σL : Esfuerzo al límite proporcional elástico, en Kg./Cm².

DU : Deformación unitaria (correspondiente al límite proporcional elástico).

6. Esfuerzo Admisible.

Donde $\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_R$ ----- \rightarrow *Fórmula 36.*
 σ_R : Esfuerzo último o esfuerzo de rotura.

F.C : Factor de reducción por calidad (Ver Cuadro 4).

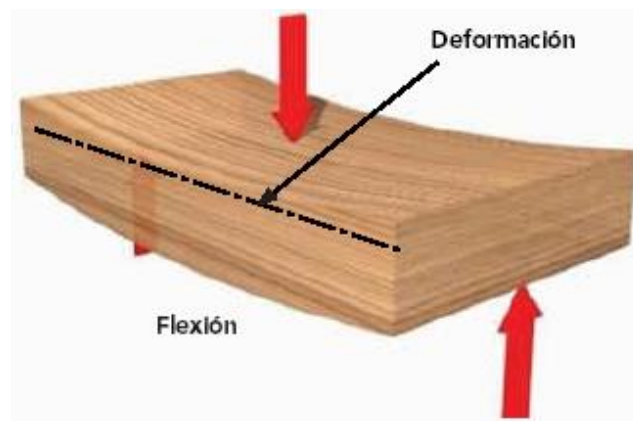
F.T. : Factor de reducción por tamaño (Ver Cuadro 4).

F.S. : Factor de servicio y seguridad (Ver Cuadro 4).

F.D.C.: Factor de duración de carga (Ver Cuadro 4).

I.3.16 FLEXIÓN ESTÁTICA.

Es la resistencia de la viga a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad.



Esquema de fuerzas externas.

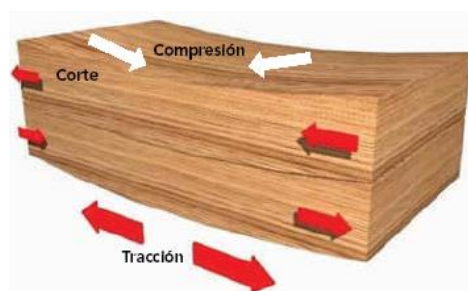


Figura 26: Esquema de ensayo de la flexión estática.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

Para un elemento de madera de sección rectangular sometido a flexión estática: la zona de la pieza correspondiente al lado cóncavo, se encuentra en compresión y la zona convexa en tracción, mientras que la zona central de la

pieza se encuentra sometida a un esfuerzo de corte. En la práctica, la madera es solicitada a flexión cuándo se la utiliza en forma de vigas, viguetas, soleras, entablado, dinteles, etc.

- **FORMULAS DE CÁLCULO.**

Como ante éste tipo de sollicitación, se combinan simultáneamente comportamientos debidos a la tracción, compresión y corte, para calcular las diferentes propiedades mecánicas de la madera, cuando se encuentra en éstas condiciones de esfuerzo, se ha tenido que realizar algunas deducciones, las cuales se muestran a continuación:

Deducción del “MOE” para una viga simplemente apoyada en función del Esfuerzo al Límite Proporcional y la deflexión en el centro de la luz.

► Según Diagramas y Formulas para vigas rectangulares simplemente apoyada – carga concentrada (Págs.: 8-5 y 8-79 del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino).

Donde:

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \quad \text{-----} \rightarrow (1)$$

Δ : Deflexión en el centro de la luz (flecha).

P : Carga Puntual.

L : Luz entre apoyos.

E : MOE de la sección transversal con relación al eje alrededor del cual se produce la flexión.

I : Momento de la sección transversal con relación al eje alrededor del cual se produce la flexión:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Donde:

b: Ancho de la probeta.

h: Espesor de probeta.

→ Despejando (α).

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \Rightarrow E = \frac{PL^3}{48\Delta I}$$

$$E = \frac{PL^3}{48\Delta I} = \frac{PL^3}{48\Delta \left(\frac{bh^3}{12} \right)} = \frac{PL^3}{4\Delta bh^3}$$

→ Luego:

$$E = \frac{PL^3}{4\Delta bh^3} \text{-----} \rightarrow (2)$$

- Además tenemos que para el caso de una viga rectangular simplemente apoyada en flexión a carga puntual se tiene:

$$|\sigma| = \frac{6|M|}{bh^2} \text{-----} \rightarrow (3)$$

Donde:

σ : Esfuerzo.

b : Ancho de la probeta.

h : Espesor de la probeta.

M : Momento aplicado.

$$M = \frac{PL}{4}$$

Donde:

P: Carga puntual.

L: Luz entre apoyos.

→ Despejando (3):

$$|\sigma| = \frac{6|M|}{bh^2} = \frac{6\left(\frac{PL}{4}\right)}{bh^2} = \frac{6PL}{2bh^2} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Luego:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \text{-----} \rightarrow (4)$$

→ Luego factorizando la fórmula (2):

$$E = \frac{PL^3}{4\Delta bh^3}$$

$$\Rightarrow E = \frac{PL}{4\Delta bh^3} = \frac{1}{4} \times \frac{P \times L \times L^2}{b \times h^2 \times \Delta \times h} = \frac{1}{6} \times \frac{3}{2} \times \frac{P \times L}{b \times h^2} \times \frac{L^2}{\Delta \times h} = \frac{1}{6} \times \left[\frac{3}{2} \times \frac{P \times L}{b \times h^2} \right] \times \frac{L^2}{\Delta \times h}$$

∴

$$E = \frac{1}{6} \times \left[\frac{3PL}{2bh^2} \right] \times \frac{L^2}{\Delta h} \text{-----} \rightarrow (5)$$

→ Reemplazando (4) en (5) tenemos:

$$E = \frac{1}{6} \times [\sigma] \times \frac{L^2}{\Delta \times h}$$

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{6\Delta h L^{-2}}} \text{ -----} \rightarrow (6)$$

Donde:

E : Modulo de elasticidad (MOE).

σ : Esfuerzo.

Δ : Deflexión en el centro de la luz.

h : Espesor de la probeta.

L : Luz entre apoyos.

Esta expresión vendría a ser la Fórmula del MOE en función del esfuerzo y de la deflexión (flecha) en el centro de la luz; donde además la expresión ($6\Delta h L^2$) resulta ser adimensional.

→ Despejando: Ley de Hooke (Timoshenko, Resistencia de Materiales, 5° edición) tenemos:

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon}} \text{ -----} \rightarrow \text{Formula 37.}$$

Donde:

E : Modulo de elasticidad (MOE).

σ : Esfuerzo.

ε : Deformación unitaria.

→ De la (Formula 21) y de (6) se deduce que para la condición de viga de sección rectangular simplemente apoyada - carga concentrada al centro; para el caso de su sección central, se tiene que:

Deformación Unitaria=

$$\boxed{\varepsilon = 6 \Delta h L^{-2}} \text{ -----} \rightarrow (7)$$

Donde:

ϵ : Deformación Unitaria (DU).

Δ : Deflexión en el centro de la luz.

h : Espesor de la probeta.

L : Luz entre apoyos.

Luego de haber deducido las fórmulas (6) y (7), presentamos las fórmulas a ser usadas para calcular las propiedades mecánicas y elásticas de la madera en flexión estática o flexo-compresión:

1. Deformación Unitaria.

$$DU = 6 f b L^{-2} \text{-----} \rightarrow \text{Fórmula 38.}$$

Donde:

DU: Deformación unitaria.

f : Deflexión (flecha) en el centro de la luz de la probeta, en Cm.

b : Espesor de la probeta, en Cm.

L : Luz entre apoyos, en Cm.

2. Esfuerzo.

$$\sigma = \frac{3 P}{2ab^2} \text{-----} \rightarrow \text{Fórmula 39.}$$

Donde:

σ : Esfuerzo, en Kg./Cm².

P : Carga, en Kg.

L : Luz entre apoyos, en Cm.

a : Ancho de la probeta, en Cm.

b : Espesor de la probeta, en Cm.

3. Esfuerzo al límite proporcional elástico.

$$\sigma L = \frac{3 PL}{2ab^2} \text{-----} \rightarrow \text{Fórmula 40.}$$

Donde:

σL : Esfuerzo al límite proporcional elástico, en Kg./Cm².

PL : Carga al límite proporcional elástico, en Kg.

L : Luz entre apoyos, en Cm.

- a : Ancho de la probeta, en Cm.
b : Espesor de la probeta, en Cm.

4. Esfuerzo de rotura.

Donde:

$$\sigma_R = \frac{3 PR}{2ab^2} \text{ ---- } \rightarrow \text{Fórmula 41.}$$

σ_R : Esfuerzo de rotura, en Kg./Cm².

PR : Carga de rotura, en Kg.

L : Luz entre apoyos, en Cm.

a : Ancho de la probeta, en Cm.

b : Espesor de la probeta, en Cm.

5. Módulo de elasticidad.

Donde:

$$MOE = \frac{\sigma L}{DU} \text{ ---- } \rightarrow \text{Fórmula 42.}$$

MOE: Módulo de elasticidad, en Kg./Cm².

σ_L : Esfuerzo al límite proporcional elástico, en Kg./Cm².

DU : Deformación unitaria (correspondiente al límite proporcional elástico).

6. Esfuerzo Admisible.

$$\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_R \text{ ---- } \rightarrow \text{Fórmula 43.}$$

Donde

σ_R = Esfuerzo último o de rotura.

F.C = Factor de reducción por calidad (Ver Cuadro 4).

F.T. = Factor de reducción por tamaño (Ver Cuadro 4).

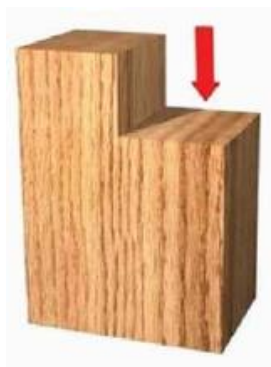
F.S. = Factor de servicio y seguridad (Ver Cuadro 4).

F.D.C.= Factor de duración de carga (Ver Cuadro 4).

I.3.17 CORTE O CIZALLAMIENTO.

Es la medida de la capacidad de la pieza para resistir fuerzas que tienden a causar deslizamiento de una parte de la pieza sobre otra.

I.3.17.1 CORTE PARALELO.



La sollicitación es paralela a las fibras y produce un plano de falla, tangente a los anillos de crecimiento.

Figura 27: Esquema de ensayo de cizalle paralelo tangencial.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

La madera es más resistente al corte o al cizallamiento perpendicular al grano, que al corte paralelo, debido a que las fibras aumentan la resistencia al cizallamiento; en cambio en el corte paralelo, el esfuerzo de corte es resistido básicamente por la sustancia cementante llamada lignina.

- **FORMULAS DE CÁLCULO.**

Para calcular las diferentes propiedades mecánicas de la madera, cuando ésta resiste fuerzas cortantes en dirección paralela radial o tangencial a la fibra; se aplican las siguientes fórmulas, aclarando que no es posible determinar con los instrumentos y equipos con los que cuenta el Laboratorio de Materiales de la UNC, el esfuerzo al límite proporcional, ni el módulo de elasticidad:

1. Esfuerzo de rotura.

Donde: $\sigma_R = \frac{P}{A}$ ----- \rightarrow Fórmula 44.

σ_R : Esfuerzo de rotura por cizallamiento, en Kg./Cm².

P: Carga máxima soportada por la probeta, en Kg.

A: Superficie del plano en que se produce el cizallamiento, en Cm².

2. Esfuerzo Admisible.

$\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_R$ ----- \rightarrow Fórmula 45.

Donde

- σ_R : Esfuerzo último o esfuerzo de rotura.
 F.C : Factor de reducción por calidad (Ver Cuadro 4).
 F.T. : Factor de reducción por tamaño (Ver Cuadro 4).
 F.S. : Factor de servicio y seguridad (Ver Cuadro 4).
 F.D.C.: Factor de duración de carga (Ver Cuadro 4).

I.3.18 DUREZA.

Es la resistencia que presenta la madera a la penetración.

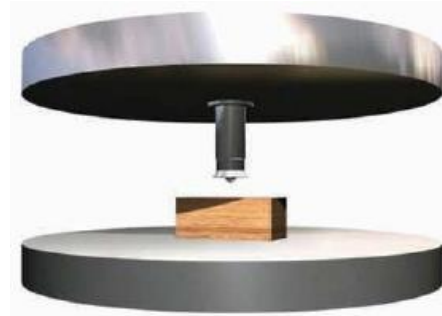


Figura 28: Esquema de ensayo de dureza. Puede medirse en forma normal o paralela a la fibra.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

Se ha definido la dureza de un material, como la propiedad que esta posee para rayar otro material, sin ser rayado por aquel. En el caso de la madera; los ensayos de dureza están basados en la resistencia que opone la madera para dejarse deformar por otro material más duro (acero), que ejerce una presión de tal magnitud que produce una deformación en la madera. La magnitud de esta deformación realizada en condiciones perfectamente normalizadas, da un índice de la dureza de la madera.

- **FORMULAS DE CÁLCULO.**

El ensayo de dureza (BRINELL), se basa en la resistencia que opone un cuerpo para dejarse deformar por otro más duro, llamado penetrador; en consecuencia el coeficiente Brinell (HB), que expresa la dureza es la relación de la carga P en Kg., a la superficie S en mm² del casquete esférico:

1. Coeficiente Brinell.

$$HB = \frac{\text{Carga}}{\text{superficie casquete}} = \frac{P}{S} \text{ --- se obtiene} \rightarrow \text{Fórmula 46.}$$

con la siguiente ecuación:

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left[D - \left(\sqrt{D^2 - d^2} \right) \right]} \left(\frac{Kg}{mm^2} \right) \text{ ---- } \rightarrow \text{Fórmula 47.}$$

Donde:

HB: Coeficiente de dureza Brinell, en Kg./mm².

P: Carga constante aplicada sobre la esfera penetradora, en Kg.

D: Diámetro de la esfera penetradora, en mm.

d: Diámetro de impresión, en mm.

Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Por: Junta del Acuerdo de Cartagena. PADT-REFORT, 1984.)

I.3.19 ACONDICIONAMIENTO DE LA MADERA.

Es necesario utilizar la madera en las mejores condiciones, por lo que se tienen que cumplir con ciertos requisitos, tales como: La edad del árbol, diámetro del tronco, tamaño de los defectos: alabeos, encorvaduras, rajaduras, nudos, etc.

Las normas exigen que la madera a emplearse, en especial para uso estructural satisfaga las normas de clasificación visual recomendada por el PADT REFORT, y de ésta manera garantizar un comportamiento adecuado en el diseño.

I.3.19.1 PROCESOS DE LA MADERA.

I.3.19.1.1 TALADO.

Se entiende por talado a la acción que consiste en cortar los árboles por su base con fines de aprovechamiento forestal.

En el talado de árboles se debe tener presente la tala con el mayor provecho para la economía forestal y maderera.

Para hacer el talado de árboles se puede emplear distintas herramientas como: hacha, sierra, motosierra, etc.

Cuando en un árbol su centro de gravedad no cae perpendicular a su superficie de apoyo, este se halla sometido a tensión; para la tala de estos árboles se debe empezar por la parte sometida a compresión ya que si se corta por la parte sometida a tensión, el tronco se raja en el sentido longitudinal.

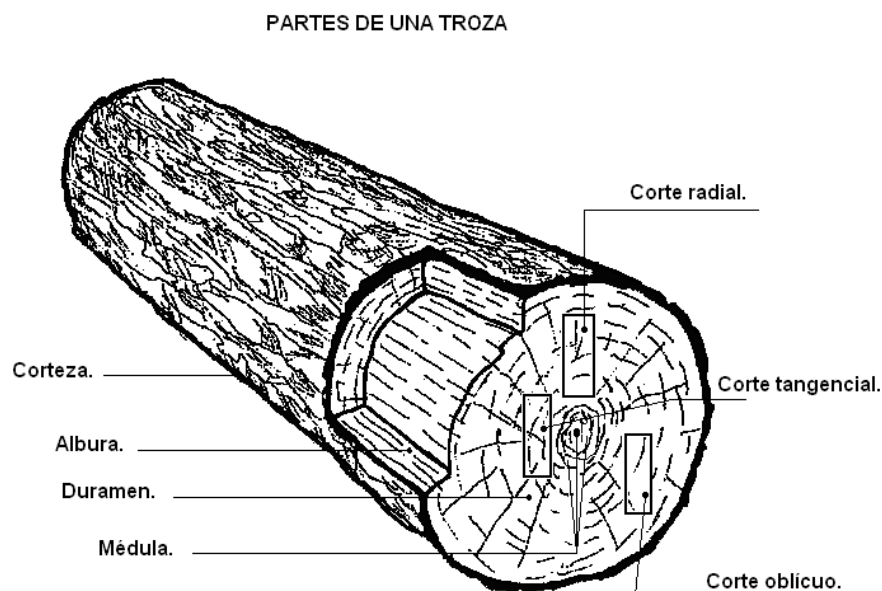
I.3.19.1.2 ASERRADO.

Para habilitar la madera rolliza el primer proceso al que se somete es el aserrado; esto consiste en la obtención de piezas de dimensiones grandes, dejando para una etapa posterior la obtención de secciones más pequeñas. Esta última operación se denomina reaserrado, y por lo general se realiza con sierras de menor dimensión.

I.3.19.1.3 CORTES DEL TRONCO.

La madera puede cortarse del tronco de tres maneras distintas: tangente a los anillos de crecimiento, perpendicular a los anillos es decir en la dirección de los radios y siguiendo una dirección arbitraria obteniéndose en general madera de corte oblicuo.

Para producir madera de calidad estructural es conveniente aserrar las piezas en corte radial, para reducir las distorsiones y defectos debidos al secado. Normalmente la madera radial o tangencial no es exactamente cortada perpendicular o paralelamente a los anillos de crecimiento, se considera sin embargo madera radial a aquella cuyos anillos hacen un ángulo entre 60° y 90° con la cara mayor. Se acepta como madera tangencial a aquella cuyos anillos son tangentes al corte, y los que hacen un ángulo entre 30° y 60° se le denomina madera oblicua.



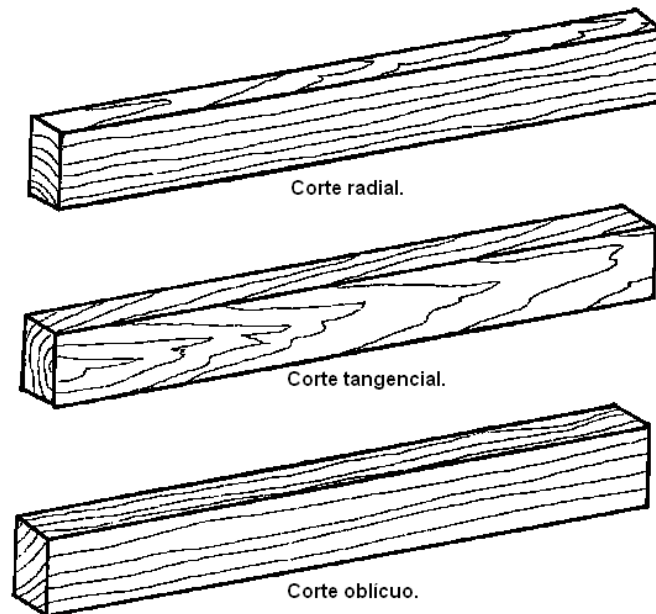


Figura 29: Denominación de los tipos de corte según su orientación en el tronco. Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

I.3.19.2 FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MADERA.

Existe una serie de variables relacionadas con la estructura natural de la madera que pueden afectar sus propiedades mecánicas:

I.3.19.2.1 DENSIDAD

La densidad es una variable importante para determinar la resistencia de la madera. Esta depende de varios factores, entre los cuales se puede mencionar:

- Composición de las paredes celulares.
- Grosor de las paredes celulares.
- Tamaño de las porosidades.
- Composición de la celulosa.

I.3.19.2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD

Cuando la madera pierde agua por debajo del punto de saturación de las fibras, cada célula se compacta, lo que provoca mayor rigidez y resistencia de las fibras, y por ende, un incremento de su resistencia.

I.3.19.2.3 TEMPERATURA

En general, las propiedades mecánicas de la madera decrecen al aumentar la temperatura interna, produciendo el efecto inverso cuando se enfría.

I.3.19.2.4 ALBURA Y DURAMEN

Por los tejidos de la albura se conduce la savia desde la tierra a las hojas, siendo de vital importancia en el crecimiento del árbol, además de ser su soporte. En la primera etapa del árbol, su sección transversal corresponde a la albura, luego, parte de ésta se transforma en duramen, cuya única función es el soporte mecánico del tronco.

No existen diferencias significativas entre las propiedades mecánicas de albura y duramen.

I.3.19.2.5 TEMPORADA DE CORTE

En general el árbol se puede talar en cualquiera estación del año, no habiendo ninguna diferencia en sus propiedades, lo importante es que una vez talado, se procede de inmediato a su procesamiento y secado en cámara.

I.3.19.2.6 DURACIÓN DE LA CARGA.

Cuando a un elemento de madera se le carga por primera vez se deforma elásticamente, y si la carga se mantiene, se presenta una deformación adicional dependiente del tiempo. Este fenómeno se denomina flujo plástico ó “Creep”.

I.3.19.2.7 DEGRADACIÓN.

La madera por ser un material orgánico y natural, constituido por celulosa y lignina, si es sometida a ciertas condiciones de humedad, temperatura y oxígeno puede ser degradada. La degradación de la madera se debe al ataque de organismos biológicos destructores como son; los hongos y los insectos xilófagos que ha dichas condiciones ambientales pueden invadir ciertos sectores de la madera y si no son detectados a tiempo, destruyen las células que la componen, afectando sus propiedades físicas y mecánicas, reduciendo severamente su resistencia estructural.

I.3.19.2.8 ATAQUE DE INSECTOS.

Por Lo general se consideran dos tipos de insectos que atacan a la madera: los que atacan a la madera antes de su puesta en servicio y los que atacan después de su puesta en servicio. Dentro de estos figuran: Los Termites Subterráneos y los de madera seca, que son los más dañinos, estos son los escarabajos tipo lyctus o bostrichidos y las hormigas carpinteras o comejes.

I.3.19.2.9 TRATAMIENTO DE LA MADERA

“En varios estudios se ha demostrado que el proceso de la impregnación, debido al sometimiento de alta presión para lograr un buen resultado, produce un debilitamiento de la pieza y disminución de su resistencia” (ver pg. 33, ítem 1.5.3.3.7 del Manual “La Construcción De Viviendas De Madera” De La Corporación Chilena De La Madera Corma).

I.3.19.2.10 DEFECTOS DE LA MADERA.

Recibe este nombre cualquier irregularidad física, química o físico-química de la madera, que afecte los aspectos de resistencia o durabilidad, determinando generalmente una limitante en su uso o aplicación.

I.3.19.3 CLASIFICACIÓN VISUAL DE DEFECTOS.

El identificar los defectos de la madera permite clasificarla por aspecto o resistencia.

En una clasificación por resistencia, cada nivel está vinculado a una razón de resistencia y se clasifica según el grado estructural.

Se distinguen, además, defectos por manipulación de la madera (secado y elaboración) y los inherentes a ella, los cuales influyen al momento de clasificarla por aspecto y por resistencia.

Es importante conocer los términos relacionados con la geometría de una pieza, indispensable para comprender las definiciones y métodos de medición de los defectos de la madera.

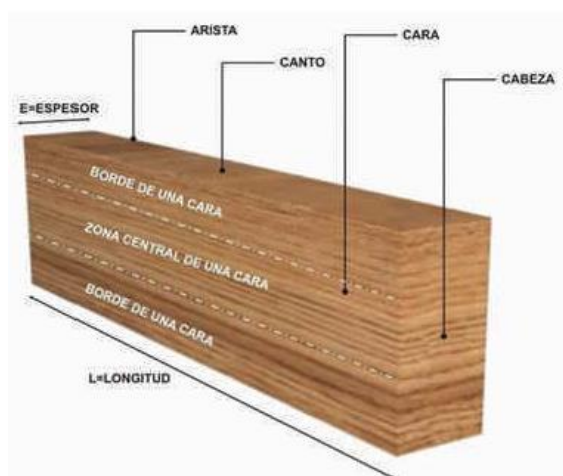


Figura 30: Términos relativos a la geometría de una pieza.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

Arista: Línea recta de intersección de las superficies que forman dos lados adyacentes.

Cabeza: Sección transversal de cada extremo de una pieza.

Cantos: Superficies planas, menores y normales a las caras paralelas entre sí y al eje.

Caras: Superficies planas mayores, paralelas entre sí y al eje longitudinal de una pieza o cada una de las superficies planas de una pieza de sección cuadrada.

Borde de una cara: Zona de la superficie de una cara que abarca todo el largo de una pieza y que queda limitada en el ancho, por una arista y por una línea imaginaria paralela a la arista y a una distancia de ésta igual a la cuarta parte del ancho de la pieza.

Zona central de una cara: Zona de la superficie de una cara que abarca todo el largo de una pieza que queda comprendida entre los bordes de la cara. El ancho de esta zona es igual a la mitad del ancho de la pieza.

Escuadría: Expresión numérica de las dimensiones de la sección transversal de una pieza. Se debe especificar en milímetros (mm) de acuerdo a la norma vigente. Como en nuestro país está arraigado el uso de las pulgadas, se ha considerado conveniente especificar las escuadrías de las piezas indistintamente en ambos sistemas, como por ejemplo: 2" x 4" ó 2x4 ó 41 x 90 mm.

Ancho: Dimensión mayor de la escuadría.

Espesor: Dimensión menor de la escuadría.

I.3.19.3.1 CLASIFICACIÓN VISUAL DE DEFECTOS POR EL PADT-REFORT.

A) DEFECTOS RELATIVOS A LA CONSTITUCIÓN ANATÓMICA.

- **ALBURA.** Por lo general la albura en casi todas las especies es atacable, y se considera como defecto cuando ha sido atacada y presenta pudrición.
- **BOLSA.** Es la presencia de una cavidad, que contiene resina, goma o tanino.
- **CORTEZA INCLUIDA.** Es la presencia de una masa de corteza total o parcialmente comprendida en el leño.
- **GRANO INCLINADO.** Es la desviación angular que presentan los elementos longitudinales del fuste o canto de una pieza.
- **MADERA DE COMPRESIÓN.** Es la madera de reacción que se forma típicamente en las confieras. Generalmente es más dura y oscura que la madera normal.

- **MADERA DE TENSIÓN.** Es la madera de reacción que se forma típicamente en las latifoliadas, generalmente es más clara que la madera normal.
- **MÉDULA.** Es la parte central del duramen. Es susceptible al ataque de hongos e insectos.
- **NUDO.** Es el área de tejido leñoso resultante del rastro dejado por el desarrollo de una rama, cuyas características son diferentes a las de la madera circundante.

B) DEFECTOS RELATIVOS AL ATAQUE DE ORGANISMOS BIOLÓGICOS.

- **ACAÑONADO.** Es el orificio aproximadamente cilíndrico en el interior de una troza como consecuencia del atabacado.
- **ATABACADO.** Es el proceso de pudrición castaña de la madera que se caracteriza, en la etapa avanzada, por la desintegración del leño en un polvo de color pardusco.
- **MANCHA.** Es el cambio de color de la madera producido por hongos que descomponen la estructura leñosa.
- **PERFORACIONES GRANDES.** Son agujeros con diámetros mayores a 3 mm. Producidos por insectos y larvas perforadoras.
- **PERFORACIONES PEQUEÑAS.** Son agujeros con diámetros iguales o menores a 3 mm. Producidos por insectos o larvas perforadoras.
- **PUDRICIÓN AVANZADA.** Es la etapa de descomposición en que la madera presenta cambios evidentes en su apariencia, peso específico, composición, dureza y otras características mecánicas.
- **PUDRICIÓN CASTAÑA.** Es aquella que se caracteriza por una coloración castaña de la madera como consecuencia de la descomposición de la celulosa.
- **PUDRICIÓN CLARA.** Es aquella que se caracteriza por la coloración clara de la madera como consecuencia de la descomposición preponderante de la lignina además de las hemicelulosas.
- **PUDRICIÓN INCIPIENTE.** Es la etapa inicial de la descomposición en la cual la madera pierde parte de sus propiedades mecánicas y puede sufrir cambios de color debido al ataque de hongos.

C) DEFECTOS ORIGINADOS DURANTE EL APEO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO.

- **DESGARRAMIENTO.** Es el rompimiento que se produce en la base del tronco al ser cortado o talado el árbol.

- **FRACTURA O FALLA DE COMPRESIÓN.** Es la deformación o rompimiento de las fibras de la madera como resultado de compresión o flexión excesivas ocasionada en árboles en pie por la acción del viento, nieve o proceso de crecimiento, y en árboles apeados como resultado de esfuerzos durante las operaciones de explotación y aprovechamiento.
- **RAJADURA.** Es la separación de los elementos constitutivos de la madera que se extiende en la dirección del eje de la pieza afectando totalmente el espesor de la mima o dos puntos opuestos de una madera rolliza.

D) DEFECTOS ORIGINADOS DURANTE EL SECADO.

- **ALABEO.** Es la deformación que puede experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal o transversal o de ambos.
- **ABARQUILLADO.** Es el alabeo de las caras en la dirección transversal.
- **ARQUEADURA O COMBADO.** Es el alabeo de las caras en la dirección longitudinal.
- **COLAPSO.** Es la reducción de dimensiones de la madera que ocurre durante un proceso de secado por encima del punto de saturación de la fibra y que se debe a un aplastamiento de sus cavidades celulares. A menudo se observa como un corrugado de la superficie.
- **ENCORVADURA.** Es el alabeo de los cantos en sentido longitudinal.
- **ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL.** Es el estado de tensiones de una pieza caracterizado por compresión en las capas externas y tensión en la parte interna, como resultado de inadecuadas condiciones de secado.
- **GRIETA.** Es la separación de los elementos constitutivos de la madera cuyo desarrollo no alcanza a afectar dos caras de una pieza aserrada o dos puntos opuestos de la periferia de una madera rolliza.
- **RAJADURA.** Es la separación de los elementos constitutivos de la madera que se extiende en la dirección del eje longitudinal de la pieza y afecta totalmente el espesor de la misma a dos puntos opuestos de una madera rolliza.
- **TORCEDURA.** Es el alabeo simultáneo en las direcciones longitudinal y transversal.

E) DEFECTOS ORIGINADOS DURANTE EL ASERRÍO.

- **ARISTA FALTANTE.** Es la falta de madera en una o más aristas de una pieza.

- **MALA ESCUADRÍA.** Se denomina así a la sección transversal de una pieza de madera que está mal labrada a escuadra.
- **PICADA.** Es la depresión en la superficie, de una pieza producida por un corte anormal.

I.3.19.3.2 CLASIFICACIÓN DE DEFECTOS: Por El Manual: *“La Construcción De Viviendas De Madera” De La Corporación Chilena De La Madera Corma.*

A) DEFECTOS PROPIOS.

Los defectos propios que más inciden sobre las propiedades de resistencia y durabilidad son:

• **NUDOS SUELTOS**

Abertura de sección relativamente circular, originada por el desprendimiento de un nudo.

Si no interesa su posición en la pieza, la norma establece que se debe calcular el diámetro medio, midiendo su diámetro mayor y menor, en milímetros, y calculando el promedio.

Los agujeros y/o nudos sueltos se pueden ubicar en la arista, en el borde de la cara, en el canto o en la zona central de la cara.

La posición de este defecto es determinante en la magnitud de la alteración que causará en las propiedades resistentes. Así, un agujero, dentro o cerca de un canto, afecta fuertemente la resistencia de tracción o compresión de una pieza solicitada por flexión.

En cambio, un agujero en el centro de la cara alterará más su resistencia de cizalle, cuando se aplica a ella el mismo esfuerzo de flexión.



Ejemplos:

Figura 31: Medición de agujero y/o nudo suelto en el borde de la cara.

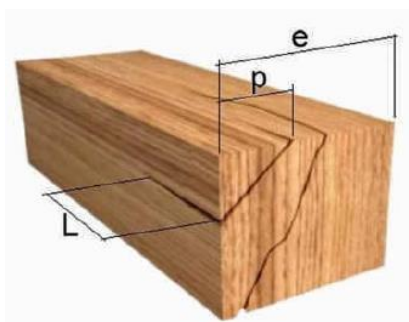
Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.



Figura 32: Medición de agujero y/o nudo suelto en la arista.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

• RAJADURAS

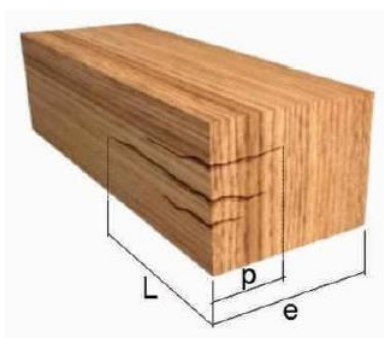


Separación de fibras en la madera que afecta dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.

Figura 33: Medición de la longitud de la zona afectada por la rajadura.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

• GRIETAS



Separación de elementos constitutivos de la madera, cuyo desarrollo no alcanza a afectar dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.

Figura 34: Medición de grietas.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

- **FIBRA INCLINADA**

Desviación angular que presentan los elementos longitudinales de la madera, con respecto al eje longitudinal de la pieza.

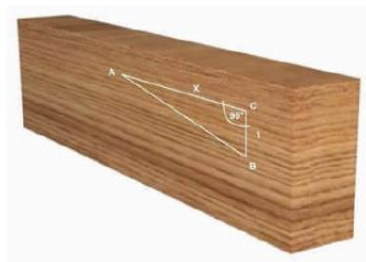


Figura 35: Medición de la desviación de la fibra.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

- **PERFORACIÓN**

Galería u otro tipo de orificio producido por la presencia de insectos taladradores. En cualquier caso, la madera con este defecto debe ser desechada.

- **PUDRICIÓN**

Degradación, descomposición y destrucción de madera por presencia de hongos xilófagos y ambiente húmedo. La presencia parcial de putrefacción implica una creciente reducción de la resistencia. No se debe utilizar como material de construcción.

Otros defectos que inciden en la resistencia, pero en menor grado, son:

- **Bolsillo de corteza.**

Presencia de masa de corteza total o parcial comprendida en la pieza. Se conoce también como “corteza incluida”.

- **Bolsillo de resina**

Presencia de una cavidad bien delimitada que contiene resina o tanino. Se conoce también como “bolsa o lacra”.

Los efectos que tiene el bolsillo de corteza y/o resina sobre la resistencia son los mismos descritos para el agujero y/o nudo suelto.

La medición dependerá de la ubicación que tiene el bolsillo en la pieza, el cual se puede ubicar en la arista, borde de la cara, en el canto o en la zona central.



Figura 36: Medición de bolsillo de corteza y/o resina en la zona central de la pieza.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

• ACEBOLLADURAS



Separación de la pieza entre dos anillos consecutivos. Cuando aparece en las caras o cantos, se mide su longitud y separación máxima (mm).

Figura 37: Forma y medición de una acebolladura.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

• ALABEOS

Deformación que puede experimentar una pieza de madera en la dirección de sus ejes, longitudinal y transversal o ambos a la vez, pudiendo tener diferentes formas: acanaladura, arqueadura, encorvadura y torcedura. Estos son defectos típicos por secado inadecuado, tema que se trata más adelante.



Ejemplo: Figura 38: Acanaladura, alabeo de las caras en la dirección transversal. Se conoce también como “abarquillado” (en la imagen se muestra la medición de la acanaladura).

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

- **COLAPSO**

Reducción de las dimensiones de la madera durante el proceso de secado, sobre el punto de saturación de las fibras, y se debe al aplastamiento de sus cavidades celulares.

Este defecto no es admisible en la madera, puede afectar la resistencia y además su presencia.

- **MÉDULA**



Corresponde al tejido parenquimatoso y blando de la zona central del tronco. Afecta la clasificación por aspecto de superficies que quedan a la vista.

Figura 39: Medición de médula.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

- **CANTO MUERTO**

Se conoce por canto muerto o arista faltante a la falta de madera en una o más aristas de una pieza.

Se mide en la arista, su largo o suma de largos en mm, mayor dimensión en el canto (x) y mayor dimensión en la cara (y).

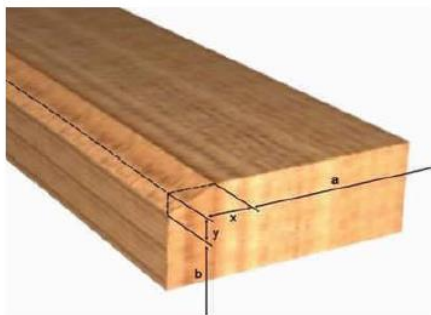
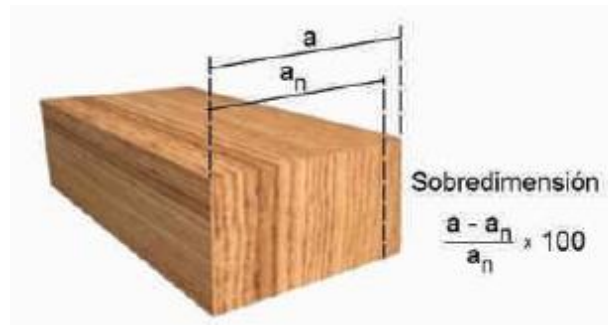


Figura 40: Medición de la arista faltante o canto muerto.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

B) DEFECTOS POR ELABORACIÓN:

- **ESCUADRÍA IRREGULAR**

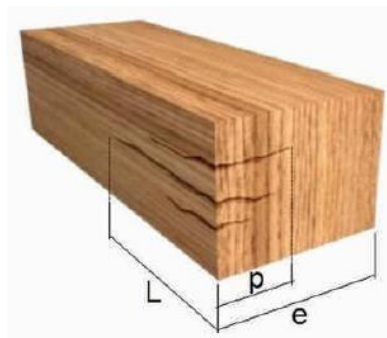


Variación de la escuadría nominal de una pieza producida por la desviación del plano de corte durante el aserrío, por ejemplo, sobredimensión.

Figura 41: Escuadría irregular

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

- **GRIETA**



Separación de los elementos constitutivos de la madera, cuyo desarrollo no alcanza a afectar dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.

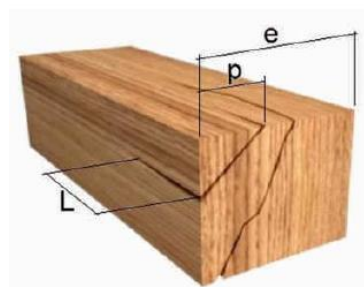
Figura 42: Medición de una grieta.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

- **MARCA DE SIERRA**

Depresión en la superficie de una pieza producida por un corte anormal.

- **RAJADURA**



Separación de fibras de la madera que afecta dos superficies opuestas o adyacentes de una pieza.

Figura 43: Medición de la longitud de la zona afectada por rajadura.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

- **CEPILLO DESGARRADO**

Levantamiento de fibras en las superficies cepilladas causado por trabajo defectuoso. Ocurre con mayor frecuencia al procesar madera verde.

- **CEPILLO ONDULADO**

Depresiones sucesivas dejadas por cuchillos sobre la superficie de una pieza cepillada.

- **CEPILLADO INCOMPLETO**

Áreas de la superficie de una pieza que quedan sin cepillar.

- **DEPRESIÓN POR CEPILLADO**



Concavidad producida durante el cepillado.

Figura 44: Depresión por cepillado.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

- **MARCA DE ASTILLAMIENTO**

Depresión en las caras cepilladas, causada por desprendimiento de fibras.

- **MANCHA DE PROCESAMIENTO**

Cambio de color que puede ocurrir en la madera durante los procesos de aserrío, cepillado y/o almacenamiento.

- **QUEMADO**

Carbonización de la madera durante su procesamiento, producida por fricción de la herramienta.

C) DEFECTOS POR SECADO

Los defectos por secado se producen cuando se realiza un proceso que genera tensiones internas a nivel de estructura de la madera, siendo los más frecuentes:

- **ARQUEADURA**



La arqueadura o combado es el alabeo de las caras en dirección de las fibras de la madera. La flecha que se forma por una de sus caras indica el grado de deformación, el cual se debe analizar para determinar el nivel de aceptación que se permite en la madera para un determinado uso.

Figura 45: Alabeo o deformación de la madera llamado arqueadura.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

• ACANALADURA

La acanaladura o abarquillado es un alabeo en dirección transversal a las fibras.



Figura 46: Alabeo o deformación de la madera llamado acanaladura.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

• ENCORVADURA

La encorvadura o curvatura lateral corresponde al alabeo de los cantos en el sentido de las fibras.

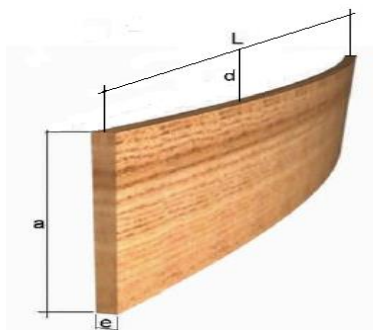


Figura 47: Alabeo o deformación de la madera llamado encorvadura.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

• TORCEDURA

La torcedura o revirado es el alabeo helicoidal en dirección longitudinal y transversal de las fibras.



Figura 48: Alabeo o deformación de la madera llamado torcedura.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

• COLAPSO

Reducción de las dimensiones de la madera durante el proceso de secado sobre el punto de saturación de las fibras. Se debe a un aplastamiento de las cavidades celulares.

I.3.19.3.3 CONTROL DE DEFECTOS.

El PAD-REFORT, en el marco del desarrollo de la Norma de Clasificación Visual a establecido tolerancias para controlar los defectos propios de la madera y así garantizar una respuesta adecuada del elemento estructural ante un determinada sollicitación de cargas cuales son las siguientes:

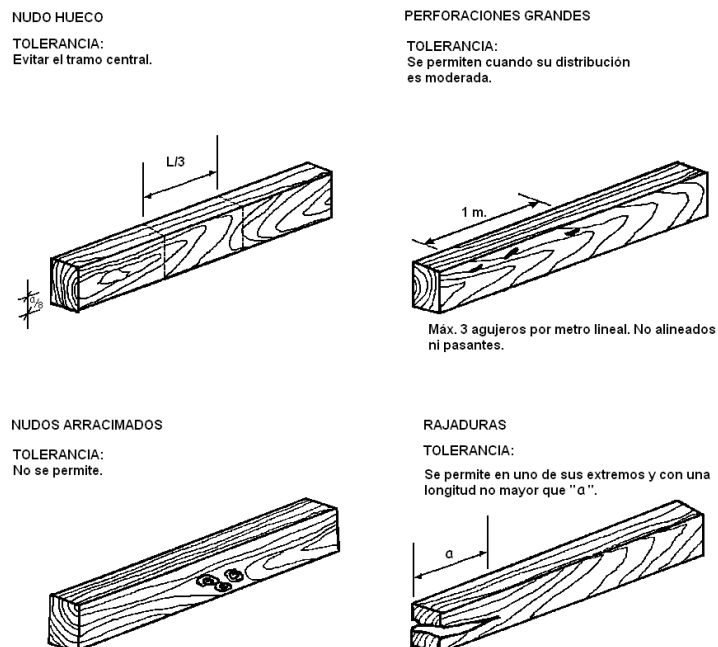


Figura: 49.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

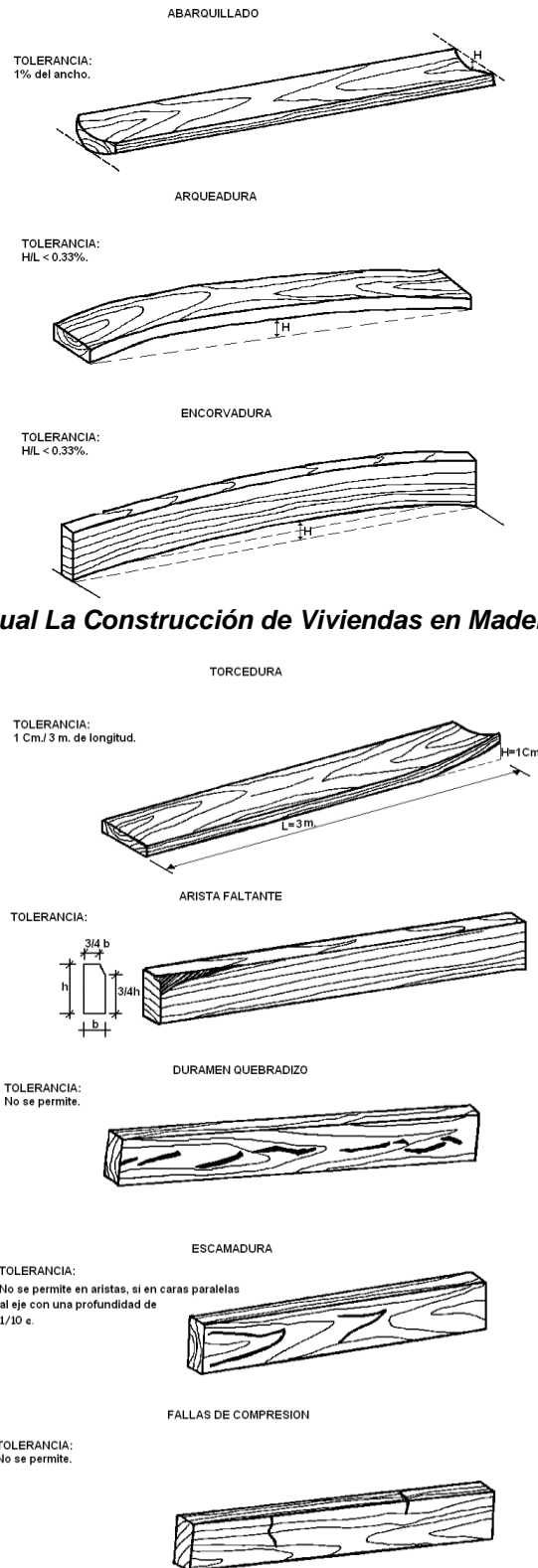


Figura: 50.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

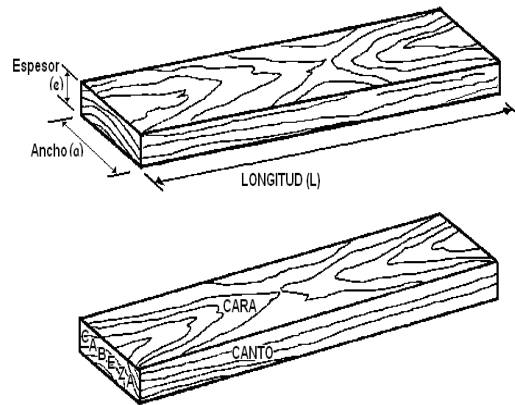
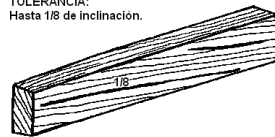


Figura 51

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

GRANO INCLINADO

TOLERANCIA:
Hasta 1/8 de inclinación.



GRIETA

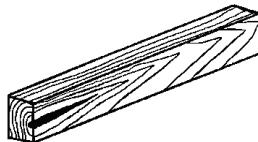
TOLERANCIA:



Se permite moderadamente. La suma de sus profundidades, medidas desde ambos lados, no debe exceder 1/4 del espesor de la pieza.

MEDULA

TOLERANCIA:
No se permite.



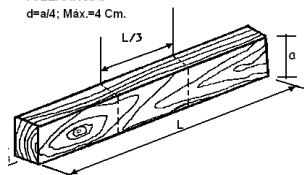
PARENQUIMA:

TOLERANCIA:
No se permite en zonas expuestas a esfuerzos de compresión paralelos.



NUDO SANO

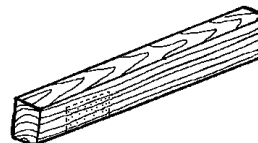
TOLERANCIA:
 $d=a/4$; Máx.=4 Cm.



- Distanciamiento entre nudos > a 100 Cm.
- Evitar la parte central.

PERFORACIONES PEQUEÑAS

TOLERANCIA:
Se permite cuando su distribución es moderada.



Max. = 100 agujeros de 10 Cm², no alineados ni pasantes.

Figura 52

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

I.3.19.3.4 CUIDADOS Y CONSIDERACIONES DE PIEZAS DE MADERA PARA EL ALMACENAMIENTO Y PROTECCIÓN A PIE DE OBRA

Si bien la madera recibida en obra puede llegar en óptimas condiciones, también puede sufrir severas deformaciones que afectan su resistencia o su

desempeño en servicio, producto de una deficiente manipulación y/o mal almacenamiento en obra.

Debido a esto, es de suma importancia tomar las siguientes precauciones y consideraciones:

- Almacenar la madera en forma encastillada y protegida de la exposición directa al sol.
- Evitar almacenar la madera en ambientes húmedos.
- Evitar contacto directo de la madera con el suelo.
- Mantener encastillado en orden, evitando piezas separadas.



Foto 3: Almacenamiento de la madera en paquetes con uso de separadores.

Fuente: Manual La Construcción de Viviendas en Madera CORMA.

I.3.20 PRESERVACION DE LA MADERA.

La madera, como cualquier otro material, tiene sus limitaciones, una de ellas, quizás la más importante, es la posibilidad de sufrir ataque de insectos y hongos; o de ser afectada por el fuego, desgaste mecánico y otros, por lo que es necesario preservarla.

I.3.20.1 PRESERVACION.

La durabilidad natural de la madera es la resistencia que opone este material a la pudrición por hongos o al ataque de insectos u otros agentes destructores. Ciertas clases de maderas son notables por su resistencia biológica. Su empleo debe ser recomendado para las situaciones más expuestas. Otras maderas son de buena o regular durabilidad y finalmente, hay maderas que son conocidas por su facilidad para ser atacadas.

La densidad de la madera es un índice de durabilidad; así por ejemplo las más pesadas son por lo general más durables. Esta apreciación tiene muchas excepciones y por ello, en cada caso es necesario determinar la durabilidad real de la especie.

La durabilidad natural se puede aumentar mediante procedimientos artificiales, ya sea por un simple secado o por tratamientos preservadores especiales.

La preservación de la madera es la respuesta moderna a la técnica para satisfacer los requisitos tecnológicos actuales y futuros, frente al agotamiento de los bosques naturales con maderas naturalmente durables, reemplazados paulatinamente por especies de crecimiento rápido.

1.4 Formulación del problema

1.4.1 PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.4.1.1 Realidad Problemática.

En la región de Cajamarca y a nivel nacional la madera es muy importante en la construcción civil porque es utilizada en diferentes estructuras, para viviendas, edificaciones y diversas construcciones multiusos. Dentro de esta madera se ha visto utilizar el pino radiata.

La mayoría de moradores de la región de Cajamarca siempre han utilizado la madera de pino radiata, mayormente en forma empírica, sin considerar las diferencias físicas y mecánicas de ambas maderas en estado seco y húmedo, cuando son empleadas en modelos estructurales como en revestimientos, en vigas, en pilares, y otros.

En la provincia de Cajamarca existe un alto porcentaje de sembríos de pino radiata, madera que es un elemento común de la zona que siembran debido a que hay mucha demanda en la ciudad de Cajamarca y en las provincias y pueblos aledaños. Este tipo de madera como la misma provincia de Cajamarca produce, el costo que tiene es bastante cómodo y la mayoría de los consumidores la adquieren con facilidad.

Frente a esta problemática que se plantea, se ha visto por conveniente hacer un análisis de los esfuerzos admisibles del pino radiata a fin de

determinar sus resistencias, y poder optar la madera en una parte específica de la estructura y el precio más cómodo con respecto a su costo.

I.4.1.2 Delimitación del problema: Temática, Geográfica, Temporal

La población beneficiada comprende 100,000 habitantes

- Comunidad : Cajamarca
- Distrito : Cajamarca.
- Provincia : Cajamarca.
- Región : Cajamarca.

I.4.1.3 Valoración del Problema.

El presente proyecto elegido reúne las condiciones de ser real, porque es un caso de actualidad, es relevante porque la madera de pino radiata es utilizada en las construcciones de viviendas y es factible, porque el presente proyecto de investigación se puede realizar.

I.4.1.4 Formulación del Problema

¿En qué medida la Determinación de los esfuerzos admisibles del comportamiento de la madera de pino radiata utilizado en viviendas cooperará para mejorar la resistencia en el diseño de los elementos estructurales de la ciudad de Cajamarca durante el año 2016?

1.5 Justificación del estudio

La madera ha sido, es y será un material muy importante en la industria de la construcción por la diversidad de sus usos que va desde una simple ventana hasta elementos estructurales complejos. Este material noble, ha sido desplazado por otros materiales y menospreciado en nuestro medio por los profesionales en ingeniería civil partidarios del uso exclusivo del concreto como material constructivo y es por esta razón no se le ha dado la importancia debida.

Por lo afirmado se ha decidido realizar este trabajo de investigación para determinar los esfuerzos admisibles a diferentes solicitaciones de carga, de la madera de pino radiata, que son indispensables en el diseño estructural con este material, anhelando que se convierta en un aporte técnico a los ingenieros estructurales y de esta forma dar mayor confiabilidad al cálculo de estructuras de madera.

1.6 Hipótesis

La madera de Pino Radiata de Cajamarca, tiene propiedades mecánicas reflejadas en sus esfuerzos ADMISIBLES, que lo tipifican como una madera Estructural que se puede usar en el diseño de diversas Estructuras como Viviendas.

1.7 Objetivos.

I.7.1 Objetivo General

Determinar los valores más probables de los esfuerzos admisibles a diferentes solicitaciones de carga de la madera de Pino Radiata de Cajamarca, según las normas técnicas peruanas vigentes.

I.7.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera Pinus Radiata, según normas NTP.
- Determinar las propiedades resistentes y elásticas de la madera Pinus Radiata, según normas NTP.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de investigación

El diseño de esta investigación de este tipo experimental y se han logrado obtener los valores de los esfuerzos admisibles de la madera de pino radiata de Cajamarca que servirán para el cálculo o el diseño estructural de elementos diversos de una edificación así por ejemplo para diseñar una columna se usara para diseñarla el esfuerzo admisible a la compresión paralela al grano; para el diseño de un viga se utilizará el esfuerzo admisible a la flexión estática y corte y cizallamiento

2.2 Variables, operacionalización

Variable	Operacionalización		Indicadores
	Definición Conceptual	Definición operacional	
1 Variable dependiente: esfuerzos admisibles de la madera Pino radiata.	Es aquella que varía con otras propiedades físicas de la madera	Se determinas mediante ensayos mecánicos y se pueden definir como la herramienta principal para el diseño estructural de elementos de madera.	Valores de cada uno de los esfuerzos admisibles o de diseño, y que permiten clasificar estructuralmente a este tipo de madera. (grupo C)
1 Variable independiente. -Contenido de humedad -Densidad básica -Dirección de fibra.	Son aquellas propiedades que no dependen de otras, sino están prefijadas en la madera	Se definen como aquellas que aparente no intervienen en el diseño estructural y están pre fijados en la naturaleza intrínseca de la madera	Valores que tienen cada una de ellas en el momento de ensayo

Cuadro 5: Operacionalización de variables

2.3 Población y muestra

La realización de esta tesis profesional tiene como finalidad brindar un aporte técnico a la industria de la construcción con madera preservada, como ayuda bibliográfica al ingeniero proyectista y a otros profesionales comprometidos con la industria de la construcción, especialmente en el ámbito de nuestra región de Cajamarca.

La investigación se realizó en la ciudad de Cajamarca, en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca. La cual contó con la colaboración de ADEFOR-CAJAMARCA, en todo lo referente al proporcionamiento de las diversas piezas de madera a utilizar, servicio especializado de aserradero y carpintería, y otros asesoramientos en cuestión de madera.

2.3.1 CARACTERISTICAS LOCALES

La presente tesis de investigación se realizó en:

- Región: Cajamarca.
- Provincia: Cajamarca.
- Distrito: Cajamarca.
- Lugar: Bosque Porcón

-Las piezas arbóreas usadas, proceden del bosque de Porcón-Cajamarca, cuyas características locales consideradas son las siguientes: o Coordenadas Norte UTM: 9220974 Km. y 9221950 Km. o Coordenadas Este UTM: 762530 Km. y 764818 Km.

- Altitud promedio: 3400 m.s.n.m.
- Temperatura promedio: 12 °C.
- Humedad relativa: entre 40 y 73%.
- Precipitación media anual: 1332mm.
- Topografía: Accidentada.

- El proceso de habilitación de probetas (especímenes) se lo realizó en las instalaciones de ADEFOR; los ensayos se ejecutaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNC y el trabajo de gabinete en la ciudad de Cajamarca; cuyas características locales consideradas son las siguientes.

- Altitud promedio: 2750 m.s.n.m.
- Temperatura promedio anual: 15°C.
- Humedad relativa: entre 40 y 72%.
- Topografía: Plana a ondulada.

2.3.2 Vías de Acceso.

- Para llegar al bosque se hace uso de la Carretera Cajamarca - Bambamarca hasta la altura del Km. 24, luego se ingresa por la trocha carrozable de la Cooperativa del mismo nombre, hasta los lugares de extracción de las piezas arbóreas (ver mapa o plano N°19).
- Para llegar a los aserraderos de ADEFOR, se hace uso de la carretera Cajamarca - Otuzco.

Según ITINTEC. El procedimiento de selección y colección de muestras se basa en el sistema de selección al azar, de modo que cada una de las unidades (zona, árbol, troza, vigueta, probeta), tenga la misma probabilidad de ser elegida, de acuerdo con el volumen existente en la zona.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

La selección y colección de muestras se hacen teniendo en cuenta a la norma ITINTEC N° 251.008 (Instituto de Investigación Tecnológica Industrial de Normas Técnicas).

De acuerdo a esta norma, y a la precisión requerida para el presente trabajo, y teniendo en cuenta las posibilidades, recursos y criterios del investigador; se seleccionaron 03 árboles al azar, de los cuales se obtuvieron 06 trozas de 3.00 m. de longitud (2 trozas por árbol).

2.4.1 PRINCIPIO DEL MÉTODO DE MUESTREO.

Según ITINTEC. El procedimiento de selección y colección de muestras se basa en el sistema de selección al azar, de modo que cada una de las unidades (zona, árbol, troza, vigueta, probeta), tenga la misma probabilidad de ser elegida, de acuerdo con el volumen existente en la zona.

2.4.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO:

El muestreo al azar comprende las siguientes etapas:

- Definición de la población.
- Selección de la zona y/o sub-zona, sector y bloque.
- Selección de los árboles.
- Selección de las trozas.
- Selección de las viguetas dentro de las trozas.
- Obtención de las probetas dentro de las Viguetas.

2.4.3 PROCEDIMIENTO.

- **Selección de la zona:** Para la selección de la zona se debe de conocer con anterioridad el volumen de madera existente de la especie determinada por unidad de superficie, en cada una de las zonas cuya población se desea investigar desde el N° 1 al N° resultante del volumen acumulado hallado, se selecciona por medio de una tabla de números aleatorios; tantos números como árboles sean necesarios; la selección se realiza por reemplazamiento, es decir que una misma zona puede ser seleccionada más de una vez.

- **Selección de árboles.**

- **Determinación del centro de actividad dentro de la zona, sector o bloque:** Para cada zona seleccionada se buscará un centro de actividad utilizando cualquier esquema conveniente, que pueden ser retículos numerados sobre mapas de la zona, sector o bloque, que luego será seleccionada al azar.

- **Cantidad de árboles a seleccionar.** Esto dependerá del grado de precisión que se debe lograr en los diferentes ensayos.

- **Selección de Trozas.** Una vez dividido el fuste en trozas de longitud adecuada, se le asignará a estas, valores porcentuales de acuerdo con el volumen que la troza represente dentro del fuste y se seleccionará un número de trozas que satisfaga al número de probetas necesarias por ensayo.

Las trozas obtenidas serán marcadas convenientemente en forma indeleble para su fácil identificación.

- **Selección de la vigueta dentro de la troza:** De la troza obtenida se cortará una pieza de madera al azar, abarcando de corteza a corteza; de tal forma que la médula quede excluida; de esta se obtiene la vigueta por cualquier método aleatorio conveniente.

Seleccionada la vigueta se cortará la misma paralelamente a la corteza y a todo lo largo de la troza.

- **Obtención de la probeta.** De las viguetas seleccionadas se tomarán las probetas para realizar los ensayos físicos y mecánicos.

2.5 Métodos de análisis de datos

2.5.1 ELABORACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE PROBETAS.

La elaboración y acondicionamiento de probetas es el producto final del proceso de muestreo y es un proceso muy importante dentro de esta investigación, por cuanto de esta operación depende el obtener muestras adecuadas de acuerdo a las normas y así lograr resultados confiables.

La elaboración y acondicionamiento de probetas se lo hizo teniendo como base la NORMA ITINTEC, de acuerdo a las condiciones de la investigación, criterios y posibilidades del investigador.

La elaboración y acondicionamiento de la madera, comenzó con la elección del bosque del cual se obtienen las muestras y culminó con el traslado de las probetas hacia el laboratorio para la realización de los ensayos correspondientes.

A continuación se describe paso a paso, cada una de las actividades realizadas en el proceso de elaboración y acondicionamiento de probetas.

2.5.2 SELECCIÓN DEL BOSQUE.

El bosque elegido para la extracción de muestras, fue el denominado bosque “**Piedra Grande**” con una extensión de 58 hectáreas; cuyas características locales se describen en el ítem I.4 de la presente Tesis.

2.5.3 DELIMITACIÓN DEL ESPACIO MUESTRAL.

El espacio muestral se limita a la región Cajamarca y específicamente a los lugares donde los bosques de Pinus Radiata, se desarrollan en condiciones similares a las del bosque de Piedra Grande.

2.5.4 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE MUESTRAS A EXPERIMENTAR.

El número de muestras a experimentar, estuvo condicionado por:

- La naturaleza de la investigación
- Los ensayos de laboratorio considerados para la presente investigación, y
- La disponibilidad de recursos.

Para el caso de la investigación y de acuerdo al ítem III.1 las muestras a experimentar estarían representadas por el número de probetas necesarias para la realización de los diferentes ensayos de laboratorio.

En virtud de lo anterior, se determinó que para ésta investigación eran necesarias 15 muestras (probetas) por ensayo tanto para la condición preservada como para la condición no preservada.

Los ensayos de laboratorio y el número de probetas necesarias recomendadas, se expresan en el siguiente cuadro:

TIPO DE ENSAYO	Nº	MODALIDAD DE ENSAYO		TOTAL DE PRUEBAS x MODALIDAD DE ENSAYO Md. No Trat.
FISICOS	1	Contenido de Humedad.		15
	2	Contracción: Radial, Tangencial y Longitudinal (en simultáneo). *		15
	3	Densidad. **	Saturada.	15
			Verde.	15
			Anhidra.	15
			Seca al Aire.	15
			Básica.	
MECANICOS	4	Compresión Paralela a la Fibra.		15
	5	Compresión Perpendicular a la Fibra.		15
	6	Tracción Paralela a la Fibra		15
	7	Flexión Estática.		15
	8	Corte Paralelo a la Fibra.		15
	9	Dureza.		15
				180

(*): Los ensayos de contracción: Radial, Tangencial y Longitudinal; se realizan de manera simultánea en una misma probeta, por lo que se lo ha considerado como uno solo.

(**): Los ensayos de densidad: Saturada, Verde, Anhidra, Seca al Aire y Básica; se realizan en una misma probeta, pero en diferentes etapas, por lo que se lo ha considerado como ensayos individuales.

Cuadro 6: Número de probetas a utilizar en la investigación.
Fuente: Elaboración propia

2.5.5 CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE MUESTRAS A EXPERIMENTAR.

Para calcular el volumen de madera a utilizar se tomaron en cuenta los ensayos Físicos y Mecánicos recomendados las normas respectivas, para los cuáles se ha considerado realizar quince pruebas por modalidad tanto para madera tratada como para madera no tratada. Las dimensiones de las probetas

requeridas para realizar los diferentes ensayos, son las que se consignan en el presente cuadro:

TIPO DE ENSAYO	Nº	MODALIDAD DE ENSAYO	DIMENSIÓN DE PROBETA (Cm.)			
			Md. No Trat.	H (Cm.)	b (Cm.)	L (Cm.)
FÍSICOS	1	Contenido de Humedad.	15	3	3	10
	2	Contracción.	15	5	5	10
	3	Densidad.	15	5	5	10
MECÁNICOS	4	Compresión Paralela a la Fibra.	15	5	5	20
	5	Compresión Perpendicular a la Fibra.	15	5	5	15
	6	Tracción Paralela a la Fibra	15	7.5	7.5	50
	7	Flexión Estática.	15	5	5	75
	8	Corte Paralelo a la Fibra.	15	5	5	6.5
	9	Dureza.	15	5	5	10

Cuadro 7: Dimensiones de las probetas a utilizar en la investigación.

Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones que se presentan en la tabla anterior para cada una de las probetas son las exactas, pero para efectos de aserrado se tiene que considerar dimensiones con un incremento del 5% por corte de cierra y por probeta, ya que éstas tienen que ser cepilladas y lijadas para reunir las condiciones geométricas óptimas y así obtener datos precisos en los diferentes tipos de ensayos. Por esta razón se calcularon las dimensiones incrementadas en un 5%, para cada una de las probetas; siendo estas las expuestas en el siguiente cuadro:

TIPO DE	Nº	MODALIDAD DE ENSAYO	DIMENSIONES PROBETAS (Cm.)
---------	----	---------------------	----------------------------

ENSAYO			Madera	(Incrementadas en el 5% por corte.)		
				H (Cm.)	b (Cm.)	L (Cm.)
FÍSICOS	1	Contenido de Humedad.	15	3.60	3.60	12.00
	2	Contracción.	15	6.00	6.00	12.00
	3	Densidad.	15	6.00	6.00	12.00
MECÁNICOS	4	Compresión Paralela a la Fibra.	15	6.00	6.00	24.00
	5	Compresión Perpendicular a la Fibra.	15	6.00	6.00	18.00
	6	Tracción Paralela a la Fibra	15	9.00	9.00	60.00
	7	Flexión Estática.	15	6.00	6.00	90.00
	8	Corte Paralelo a la Fibra.	15	6.00	6.00	7.80
	9	Dureza.	15	6.00	6.00	12.00

Cuadro 8: Dimensiones incrementadas de las probetas por efectos de corte de sierra.

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber calculado las dimensiones incrementadas de cada una de las probetas, definimos el volumen total de madera en pies tablares para éstas; lo cuál correspondería al volumen mínimo de madera requerida para la presente investigación:

CLASE DE ENSAYO	Nº	TIPO DE ENSAYO	PROBETA	DIM. PORBETAS. (Cm.) (Inc. 5% x corte.)			VOLUMEN x PROBETA (Pie Tablar)	VOL. TOTAL MAD x ENSAYO (Pie Tablar)
				H	b	L		
FISICOS	1	Contenido de Humedad.	15	3.60	3.60	12.00	0.07	1.98
	2	Contracción.	15	6.00	6.00	12.00	0.18	5.49
	3	Densidad.	15	6.00	6.00	12.00	0.18	5.49
MECANICOS	4	Compresión Paralela a la	15	6.00	6.00	24.00	0.37	10.98

		Fibra.						
5		Compresión Perpendicular a la Fibra.	15	6.00	6.00	18.00	0.27	8.24
6		Tracción Paralela a la Fibra	15	9.00	9.00	60.00	2.06	61.78
7		Flexión Estática.	15	6.00	6.00	90.00	1.37	41.19
8		Corte Paralelo a la Fibra.	15	6.00	6.00	7.80	0.12	3.57
9		Dureza.	15	6.00	6.00	12.00	0.18	5.49
								144.21

Cuadro 9: Determinación del Volumen mínimo de madera requerida para la presente investigación.

Fuente: Elaboración propia

2.5.6 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE ÁRBOLES A SELECCIONAR.

A priori a la determinación de la cantidad de árboles a seleccionar, se realizó una visita de campo al bosque “Piedra Grande” y de acuerdo a la observación visual de diferentes parámetros como son: anatomía, constitución de los árboles y facilidad de transporte, se consideró tomar trozas de 3 metros y en concordancia con este criterio, se hizo el siguiente metrado:

TROZA			Médula 6% (Cm³)	Corteza 20% (Cm³)	Nudos 15% (Cm³)	Desp. 15% (Cm³)	VOL. EFFECT TROZA (Cm³)	VOL. EFFECT TROZA (Pie Tablar)
Diam. (Cm.)	L (m)	Vol. (Cm³)						
25	3	147262.16	8835.73	29452.43	22089.32	22089.32	64795.35	27.46

Cuadro 10: Metrado de trozas consideradas para la investigación.

Fuente: Elaboración propia

El número de trozas necesarias será:

VOL. TOT. MADERA (Pie Tablar)	VOL. EFECT x TROZA (Pie Tablar)	Nº TROZAS NEC.
144.21	27.46	6

Cuadro 11: Determinación del Nº de trozas necesarias para la investigación.

La cantidad de árboles a talar estuvo en función del volumen total de madera a utilizar para la elaboración de probetas y a lo estipulado en el ítem II.5.5, donde predomina el criterio que, de cada árbol se obtenga una troza para someterla a preservado y otra troza similar para mantenerla en su estado normal, sin preservar; por lo que luego de realizar los metrados correspondientes se determinó que eran necesarios talar 03 árboles de *Pinus Radiata*.

2.5.7 DETERMINACIÓN DEL LUGAR DE EXTRACCIÓN DENTRO DEL BOSQUE.

El lugar de extracción de las piezas arbóreas fue al azar teniendo en cuenta la accesibilidad de la zona, de tal manera que las piezas a seleccionar tengan las mismas posibilidades ante cualquier otra de ser seleccionada.

2.5.8 SELECCIÓN DE LAS PIEZAS ARBÓREAS.

Las piezas arbóreas fueron seleccionadas al azar dentro del lugar de extracción, teniendo en cuenta que cualquiera de ellas tenga las mismas posibilidades de ser seleccionadas ante cualquier otra.

Las piezas arbóreas fueron codificadas de acuerdo al orden de selección en el terreno.

Las coordenadas UTM de las piezas arbóreas seleccionadas, tomadas con GPS GARMIN son:

- ARBOL I: 763881 N y 9221500 E.
- ARBOL II: 763850 N y 9221458 E.
- ARBOL III: 763690 N y 9221420 E.

2.5.9 CARACTERÍSTICAS DE LAS PIEZAS ARBÓREAS.

Entre las principales características de los árboles seleccionados tenemos:

- Altura promedio: 18 m.
- Edad: 23 años.

- Aspecto: Frondoso.

2.5.10 TALADO, TROZADO Y TRANSPORTE DE LAS PIEZAS ARBÓREAS.

El talado y derrame de las piezas arbóreas seleccionadas se llevó a cabo utilizando motosierras, el corte en el fuste de los árboles seleccionados se lo realizó a una altura promedio de 1.30 m. tomados desde el nivel de terreno.

De cada árbol se extrajo 02 trozas, por lo que se obtuvo un total de 06 trozas; se cubrió sus bases con pintura sintética para evitar la pérdida de humedad, se las codificó teniendo en cuenta el árbol al que pertenecían, y se las transportó haciendo uso de un tractor y su carreta hacia el tráiler para ser llevadas hasta los Talleres de ADEFOR-CAJAMARCA.

Esta operación estuvo a cargo del personal de ADEFOR-CAJAMARCA, bajo la dirección del Tesista.

2.5.11 SELECCIÓN DE LAS TROZAS A PRESERVAR.

Teniendo en cuenta la naturaleza de la investigación, se determinó que de cada árbol talado se obtendría una troza preservada y una troza sin preservar, en tal sentido se escogió la troza correspondiente a la parte media de cada árbol para someterla al tratamiento de preservación, esto estuvo condicionado por la disponibilidad de equipos para preservación, especialmente en lo referente al diámetro de los casquetes o cápsulas.

2.5.12 CARACTERÍSTICAS DE LAS TROZAS.

Del total de trozas obtenidas, 03 trozas fueron destinadas a preservación y 03 trozas se las mantendría es su estado natural y las características de cada una de ellas son las siguientes:

- **Trozadas destinadas a preservación:**

- **Troza I.**

- Longitud: 2.69 m.
- Edad: 23 años.
- Aspecto: Nudoso.
- Diámetro menor de Fuste: 29.50 / 30.00 Cm.
- Ubicación en el árbol: Parte media.
- Árbol al que pertenece: ARBOL I.

- **Troza II.**

- Longitud: 2.95 m.
- Edad: 23 años.

- Aspecto: Nudoso.
- Diámetro menor de Fuste: 31.00 / 32.00 Cm.
- Ubicación en el árbol: Parte media.
- Árbol al que pertenece: ARBOL II.
- **Troza III.**
 - Longitud: 2.85 m.
 - Edad: 23 años.
 - Aspecto: Nudoso.
 - Diámetro menor de Fuste: 27.50 / 28.50 Cm.
 - Ubicación en el árbol: Parte media.
 - Árbol al que pertenece: ARBOL III.
- **Trozadas destinadas a estado No Preservado:**
 - **Troza I.**
 - Longitud: 3.00 m.
 - Edad: 23 años.
 - Aspecto: Nudoso.
 - Diámetro menor de Fuste: 32.00 / 33.00 Cm.
 - Ubicación en el árbol: 1.30 m. S.N.T.
 - Árbol al que pertenece: ARBOL I.
 - **Troza II.**
 - Longitud: 2.98 m.
 - Edad: 23 años.
 - Aspecto: Nudoso.
 - Diámetro menor de Fuste: 34.50 / 36.00 Cm.
 - Ubicación en el árbol: 1.35 m. S.N.T. .
 - Árbol al que pertenece: ARBOL II.
 - **Troza III.**
 - Longitud: 3.04 m.
 - Edad: 23 años.
 - Aspecto: Nudoso.
 - Diámetro menor de Fuste: 29.50 Cm.
 - Ubicación en el árbol: 1.35 m. S.N.T.
 - Árbol al que pertenece: ARBOL III.

2.5.13 TRAZADO DE PROBETAS.

Para definir el lugar de ubicación de las probetas dentro de las viguetas, se las trazó de acuerdo a los planos; los cuales fueron elaborados teniendo en cuenta que, de cada troza se tendrían que obtener 5 probetas por ensayo; de tal manera que en lo referente a la ubicación dentro de la troza, cada probeta preservada tenga su correspondiente probeta similar (gemela) en el estado no preservado.

Previo al trazado se codificó cada una de las probetas, ésta codificación tiene la siguiente estructura:

Nº ÁRBOL DE PROCEDENCIA.	Nº DE MODALIDAD DE ENSAYO.	Nº DE PROBETA.
--------------------------	----------------------------	----------------

Cuadro 12: Clave de codificación de probetas.

Fuente: Elaboración propia

En consecuencia y luego de realizar una clasificación visual de defectos, se codificó todas las probetas necesarias en las viguetas obtenidas; teniendo en cuenta las consideraciones de criterio descritas líneas arriba, siendo esta codificación la que se muestra en la siguiente tabla:

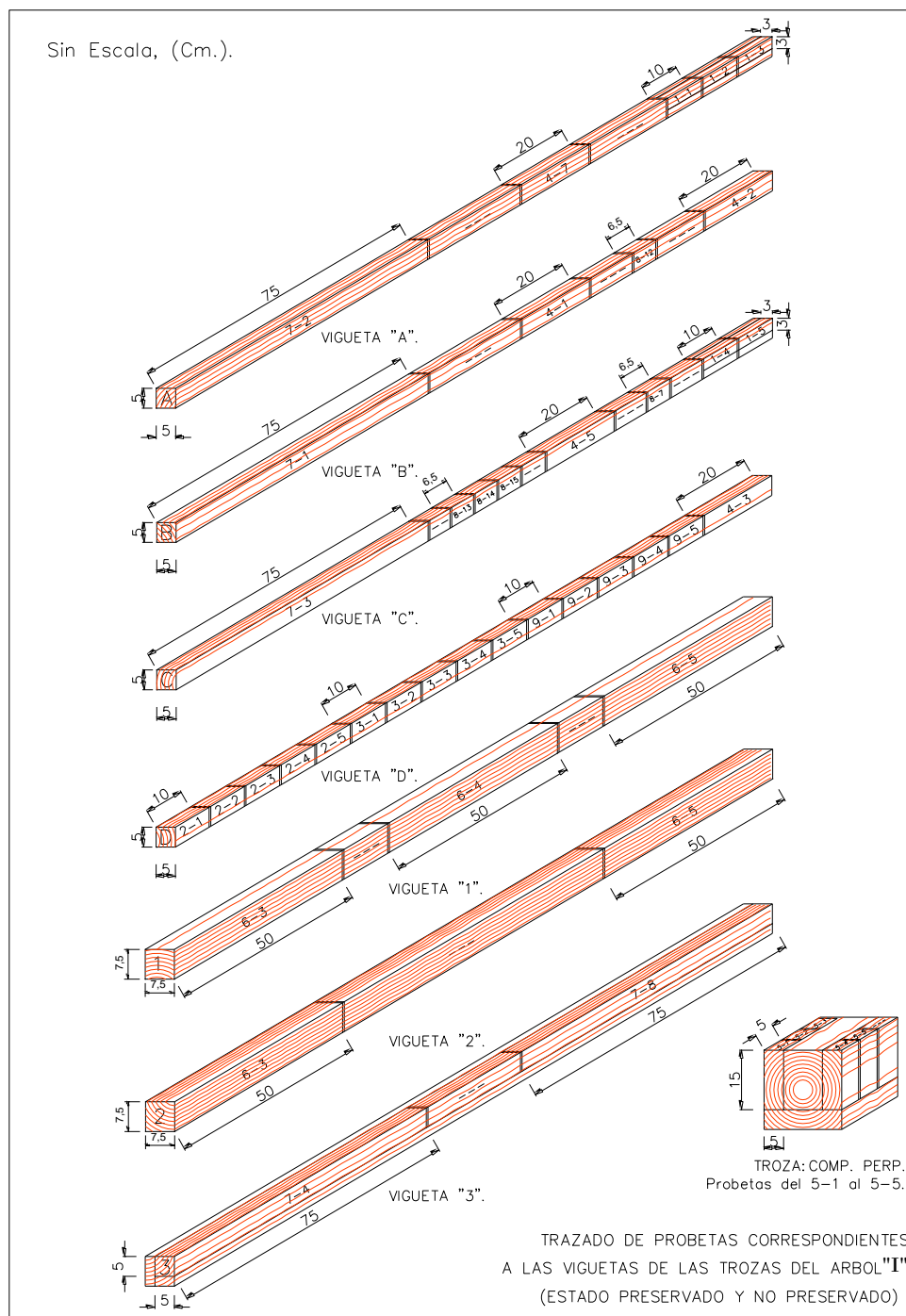
TIPO DE ENSAYO	Nº	MODALIDAD DE ENSAYO	CÓDIGO DE PROBETA.		
			ÁRBOL I	ÁRBOL II	ÁRBOL III
FÍSICOS	1	Contenido de Humedad.	I-1-1, I-1-2, I-1-3, I-1-4, I-1-5.	II-1-6, II-1-7, II-1-8, II-1-9, II-1-10.	III-1-11, III-1-12, III-1-13, III-1-14, III-1-15.
	2	Contracción.	I-2-1, I-2-2, I-2-3, I-2-4, I-2-5.	II-2-6, II-2-7, II-2-8, II-2-9, II-2-10.	III-2-11, III-2-12, III-2-13, III-2-14, III-2-15.
	3	Densidad.	I-3-1, I-3-2, I-3-3, I-3-4, I-3-5.	II-3-6, II-3-7, II-3-8, II-3-9, II-3-15.	III-3-10, III-3-11, III-3-12, III-3-13, III-3-14.
MECÁNICOS	4	Compresión Paralela a la Fibra.	I-4-1, I-4-2, I-4-3, I-4-5, I-4-7.	II-4-4, II-4-8, II-4-9, II-4-10, II-4-11.	III-4-6, III-4-12, III-4-13, III-4-14, III-4-15.
	5	Compresión Perpendicular a la Fibra.	I-5-1, I-5-2, I-5-3, I-5-4, I-5-5.	II-5-6, II-5-7, II-5-8, II-5-9, II-5-	III-5-11, III-5-12, III-5-13, III-5-14, III-5-

				10.	15.
	6	Tracción Paralela a la Fibra	I-6-1, I-6-2, I-6-3, I-6-4, I-6-5.	II-6-6, II-6-7, II-6-8, II-6-9, II-6-10.	III-6-11, III-6-12, III-6-13, III-6-14, III-6-15.
	7	Flexión Estática.	I-7-1, I-7-2, I-7-3, I-7-4, I-7-8.	II-7-6, II-7-7, II-7-9, II-7-10, II-7-11.	III-7-5, III-7-12, III-7-13, III-7-14, III-7-15.
	8	Corte Paralelo a la Fibra.	I-8-1, I-8-2, I-8-3, I-8-4, I-8-5.	II-8-6, II-8-7, II-8-8, II-8-9, II-8-10.	III-8-11, III-8-12, III-8-13, III-8-14, III-8-15.
	9	Dureza.	I-9-1, I-9-2, I-9-3, I-9-4, I-9-5.	II-9-6, II-9-8, II-9-9, II-9-11, II-9-15.	III-9-7, III-9-10, III-9-12, III-9-13, III-9-14.

Cuadro 13: Codificación de probetas.Fuente:

Elaboración propia

Luego de esta codificación se procedió a trazar las probetas en las viguetas de acuerdo a los siguientes planos:



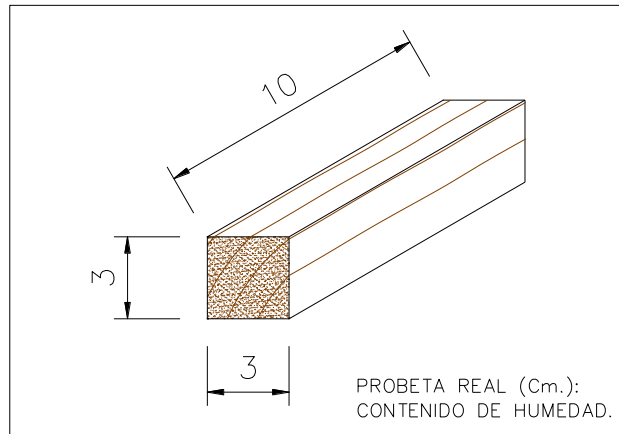
Plano 1 : Trazado de probetas – viguetas trozas arbol I

Fuente: Norma ITINTEC

2.5.14 ACONDICIONAMIENTO DE PROBETAS.

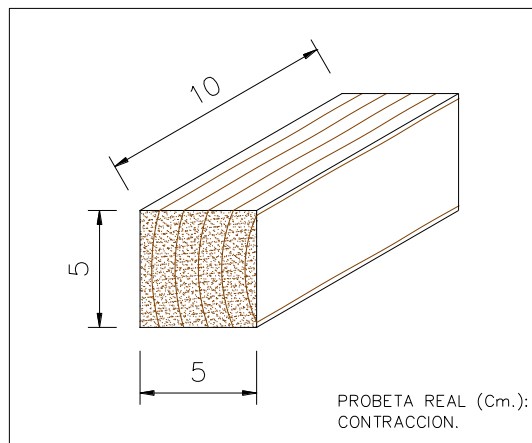
2.5.15 Posterior al trazado de probetas, éstas se habilitan de acuerdo a las dimensiones convenidas por las NORMAS ITINTEC y a los criterios adoptados por el Ingeniero asesor y el tesista.

Las probetas habilitadas tienen la morfología que se muestra en los planos siguientes:



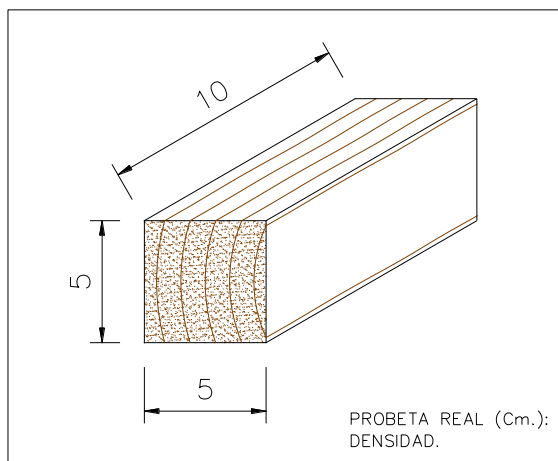
Plano 2 : Probeta – Contenido de humedad.

Fuente: Norma ITINTEC



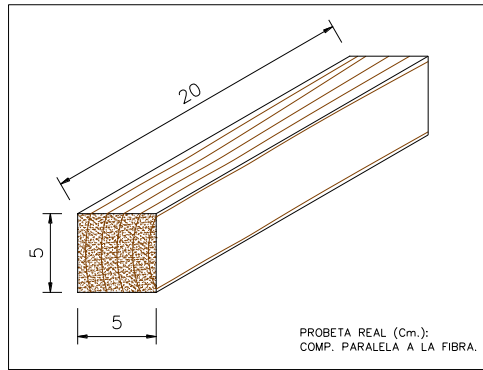
Plano 3 : Probeta – Contracción.

Fuente: Norma ITINTEC

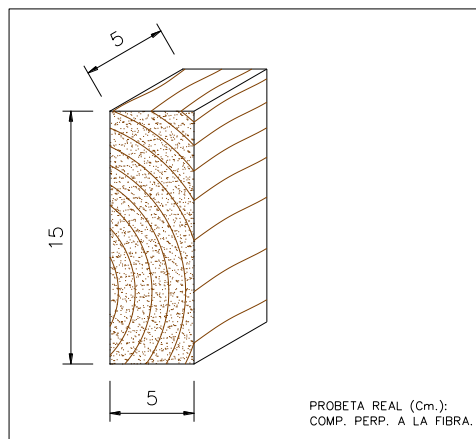


Plano 4 : Probeta – Densidad.

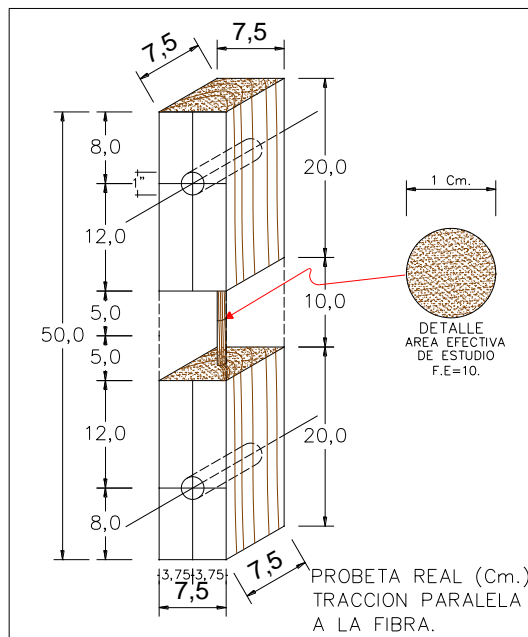
Fuente: Norma ITINTEC



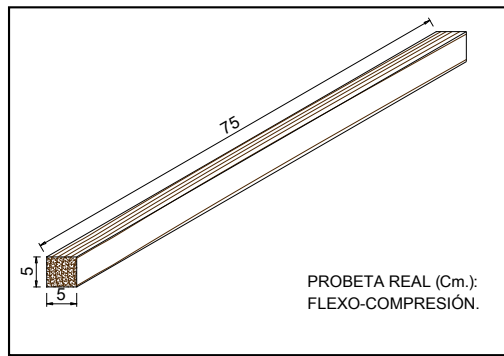
Plano 5 : Probeta – Compresión paralela a la fibra.
Fuente: Norma ITINTEC



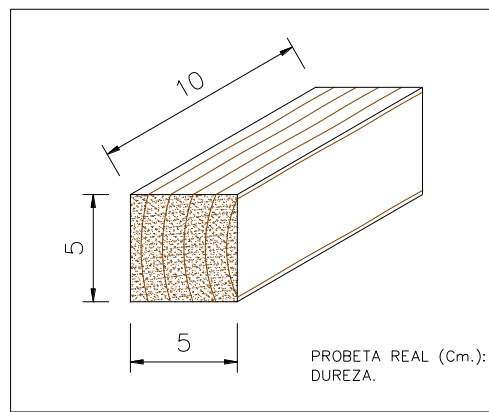
Plano 6 : Probeta – Compresión perpendicular a la fibra.
Fuente: Norma ITINTEC



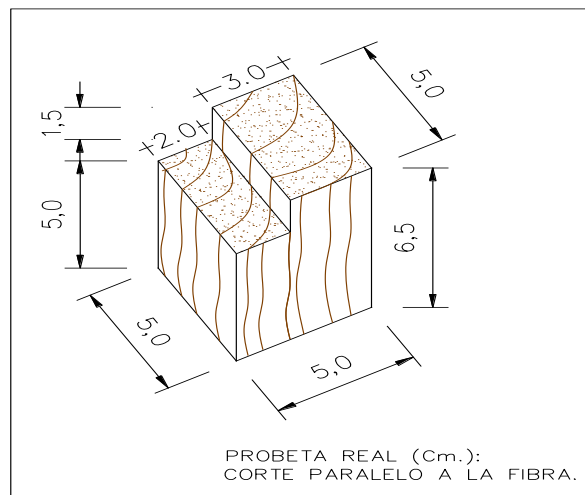
Plano 7 : Probeta – Tracción paralela a la fibra.
Fuente: Norma ITINTEC



Plano 8 : Probeta – Flexion estatica.
Fuente: Norma ITINTEC



Plano 9 : Probeta – Dureza. Fuente: Norma ITINTEC



Plano 10 : Probeta – Corte paralelo a la fibra.
Fuente: Norma ITINTEC

2.5.15 ENSAYOS (FISICOS Y MECÁNICOS)

2.5.15.1 NORMAS DE ENSAYO.

En el presente ítem nos referiremos a las NORMAS ITINTEC. Las cuales servirán para seguir la secuencia de los ensayos respectivos, y así obtener los resultados deseados.

2.5.15.2 NORMAS ITINTEC.

A continuación se presentan las NORMAS usadas en los ensayos de la madera tipo Pinus Radiata.

NORMA ITINTEC
251.010 junio 2015.
251.012 junio 2015.
251.011 junio 2015.
251.014 junio 20151980.
251.016 Agosto 1980.
NORMA DIN 2188.
251.017 Enero 1980.
251.013 Marzo1980.
251.015 Enero 1980.

Cuadro 14: Normas ITINTEC, relativas a la investigación.

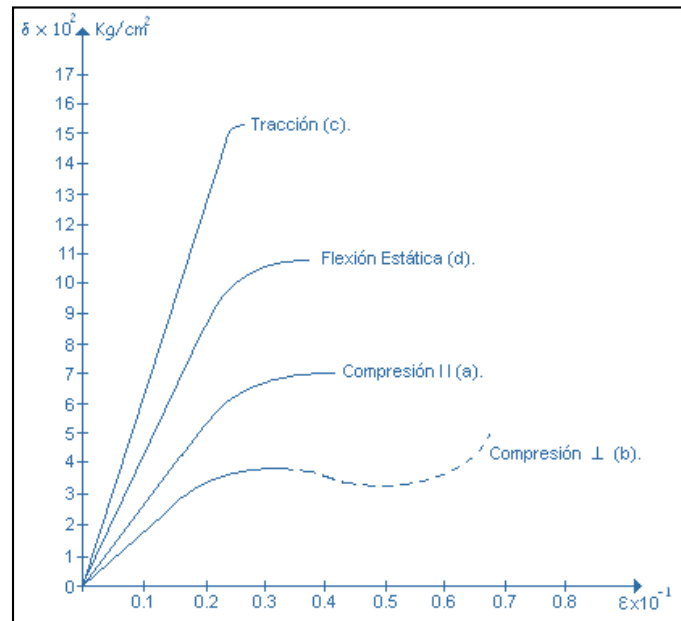
2.5.15.3 BASES PARA EL TRATAMIENTO DE DATOS.

El tema de investigación en materia de “Propiedades Físico-mecánicas de la Madera” no es nuevo, pues ya ha sido desarrollado por otros autores, los cuales han establecido ciertos “lineamientos” a tener en cuenta para el tratamiento de datos.

Dichos lineamientos hacen incidencia en las gráficas de comportamiento “Esfuerzo-Deformación Unitaria” de los ensayos de carácter mecánico:

- 1º) A un esfuerzo nulo le corresponde una deformación total nula de la probeta de ensayo.
- 2º) Siendo la madera un material elastoplástico, se ha establecido que la geometría de las curvas “Esfuerzo-Deformación Unitaria”, presentan dos tramos bien diferenciados: El tramo Elástico y el Tramo Plástico.
- 3º) El tramo elástico, es el primer tramo cuyo comportamiento se ajusta a una línea recta inclinada (Función Lineal) que parte desde cero (0,0) y asciende hasta el punto de “Esfuerzo en el Límite proporcional Elástico”.
- 4º) El tramo plástico, es el segundo tramo cuyo comportamiento se ajusta a una parábola (Función Cuadrática) o a una parábola cúbica (Función Cúbica) según sea el caso; que parte desde el punto de “Esfuerzo en el

Límite proporcional Elástico” hasta el punto de “Esfuerzo de Rotura o colapso” (ver: esquema 1).

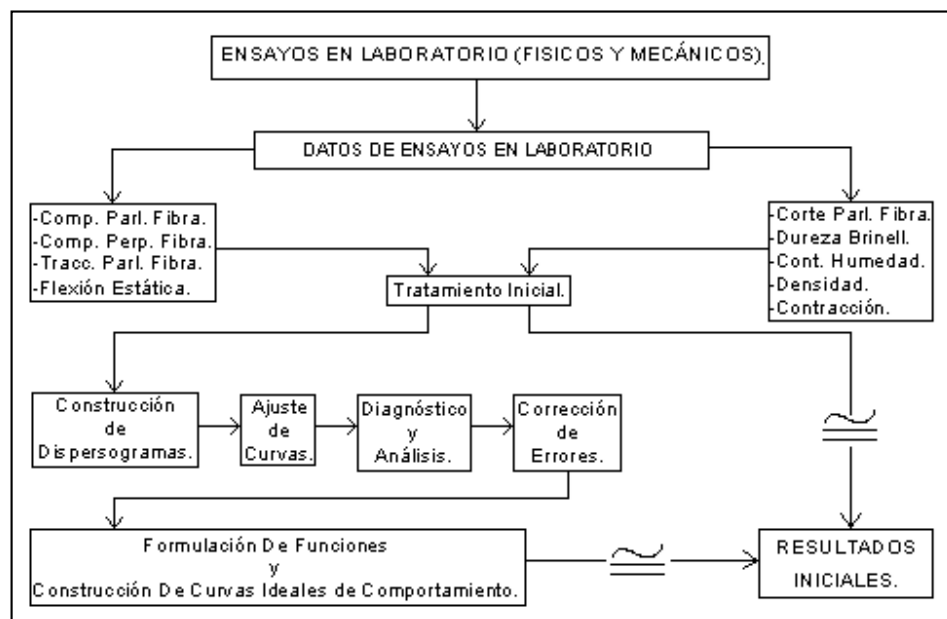


Esquema 1: Curvas Típicas de Comportamiento Esfuerzo-Deformación Unitaria para maderas.

2.5.15.4 PROCESOS REALIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE DATOS.

El flujograma N° 1, describe de manera explícita y clara todos los procesos realizados para el tratamiento de los datos en cada uno de los ensayos correspondientes.

Luego de ejecutar los ensayos en laboratorio y de contar con los datos arrojados por estos, se procedió a de la siguiente manera:



Flujograma N° 1: De ensayos en Laboratorio.

AJUSTE DE CURVAS. La unión consecutiva de los puntos correlativos que conforman el diagrama “Esfuerzo – Deformación Unitaria”, forman la curva de comportamiento mecánico de la madera ante fuerzas externas para cada ensayo; a esta curva resultante se la tiene que “ajustar” en sus diferentes tramos, mediante tratamientos estadísticos, a fin de lograr las configuraciones establecidas por los esquemas que la bibliografía sugiere para los comportamientos de cada ensayo; con el objetivo de predecir matemáticamente el comportamiento ante las diferentes sollicitaciones externas a las que puede ser expuesta la madera.

En consecuencia el ajuste de curvas consiste en la selección del modelo matemático que mejor se adapte a los datos del experimento. En nuestro caso hemos buscado que el coeficiente de correlación de cada modelo, se ajuste lo máximo posible a la unidad. Esta operación lo hemos realizado con la ayuda de un procesador.

2.5.16 ENSAYOS REALIZADOS.

Todos los ensayos se realizaron en condiciones de humedad superior al 30% (estado verde), esto con el objetivo de obtener datos de la madera en sus condiciones más desfavorables, como lo exigen las normas vigentes.

Los ensayos que se realizaron para efectos de la presente Tesis de Investigación, son los siguientes:

2.5.16.1 ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES FISICAS.

2.5.16.1.1 CONTENIDO DE HUMEDAD.

Se procedió de acuerdo a la NORMA INTINTEC 251.010. El método referido es el de secado en estufa. Una vez pesadas las muestras se las colocaron en la estufa, aplicando una elevación gradual de la temperatura hasta alcanzar los 105 °C, de tal manera que luego de varios monitoreos se verifico que el peso no se alteraba, al ocurrir esto la muestra había alcanzado su estado anhidro, en consecuencia se lo peso y se anotaron los datos, para una posterior tratamiento.

Los resultados arrojados son como se muestran a continuación:

N°	FECHA	CÓDIGO PROBETA	PESO VERDE	PESO ANHIDRO m	CONTENIDO DE HUMEDAD (C.H%)
1	06/05/2016	I-1-1	66.300	34.800	96.264
2	06/05/2016	I-1-2	71.600	35.300	102.833

3	06/05/2016	I-1-3	70.800	35.400	100.000
4	06/05/2016	I-1-4	68.600	34.600	98.266
5	06/05/2016	I-1-5	70 800	34.900	102.865
6	06/05/2016	II-1-6	67.200	35.200	90.909
7	06/05/2016	II-1-7	68.700	37.800	81.746
8	06/05/2016	II-1-8	79.400	38.200	107.853
9	06/05/2016	II-1-9	66.100	41.900	57.757
10	06/05/2016	II-1-10	69.600	41.800	66.507
11	06/05/2016	III-1-11	77 300	41.900	84.487
12	06/05/2016	III-1-12	81.400	39.500	106.076
13	06/05/2016	III-1-13	78.400	39.800	96.985
14	06/05/2016	III-1-14	75.100	37.400	100.802
15	06/05/2016	III-1-15	78.800	38.400	105.208

Cuadro 15 – Contenido de Humedad

Fuente: Elaboración propia

2.5.16.1.2 CONTRACCION.

Se procedió de acuerdo a la NORMA INTINTEC 251.012. El método referido consiste en la toma periódica de las dimensiones tangencial, radial y longitudinal de las probetas con el vernier en sus diferentes estados. Las mediciones se inician en el estado verde, se continúa midiendo mientras las probetas secan a temperatura ambiente hasta su estado de “Seco al Aire” y finalmente se toman los datos de las dimensiones de las probetas luego de ser sometidas a temperaturas de 70 °C, 95 °C y 105 °C. Estos datos son tratados posteriormente en gabinete.

Los resultados arrojados son como se muestran a continuación:

COD. PROB.	FECHA REG.	5/4/2015	7/4/2015	11/4/2015	14/4/2015	18/4/2015	21/4/2015	29/4/2015	4/5/2015	4/5/2015	9/5/2015	10/5/2015	12/5/2015
	CONDICION	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	70. °C	95 °C	105 °C
I-2-1	Dim. Tg. (Cm.)												
	Dim. Rd. (Cm.)	5.109	5.107	5.089	5.081	5.065	5.063	5.060	5.054	5.054	5.000	4.999	4.999
	Dhi. Ln. (Cm.)	10.160	10.159	10.150	10.144	10.140	10.139	10.138	10.137	10.137	10.123	10.123	10.123
	P. Probeta (gr.)	198.500	165.100	130.500	124.200	121.400	120.700	119.900	117.600	119.000	107.800	107.200	107.000
I-2-2	Dim. Tg. (Cm.)												
	Dim. ftd. (Cm.)	5.115	5.113	5.089	5.055	5.040	5.030	5.027	5.020	5.020	4.962	4.952	4.952
	Dim. Ln. fCm.)	10.097	10.096	10.077	10.074	10.072	10.071	10.070	10.070	10.070	10.056	10.056	10.056
	P. Probeta (gr.)	202.000	167.200	130.900	124.500	121.400	120.600	119.900	117.500	119.100	107.700	107.200	106.800
I-2-3	Dim. Tg. (Cm.)												
	Dim. Rd. (Cm.)	5.115	5.113	5.075	5.040	5.024	5.020	5.008	4.997	4.997	4.938	4.937	4.937
	Dim. Ln. (Ctn.)	10.129	10.200	10.115	10.109	10.107	10.106	10.105	10.105	10.105	10.097	10.096	10.096
	P. Probeta fqr.)	199.200	158.600	131.300	124.600	122.100	121.300	120.700	118.300	119.800	108.600	108.000	107.800
I-2-4	Dim. Tg (Cm.)												
	Dim Rd. (Cm.)	5.145	5.143	5.105	5.045	5.017	5.010	5.007	4.989	4.989	4.927	4.917	4.917
	Dim. Ln. (Cm.)	10.145	10.144	10.143	10.142	10.141	10.140	10.140	10.140	10.140	10.132	10.131	10.131
	P. Probeta (gr.)	209.100	171.200	136.200	128.200	125.200	124.400	123.700	121.100	122.200	111.300	110.600	110.300
I-2-5	Dim. Tg. (Cm.)												
	FECHA RE	5.148	5.146	5.055	4.995	4.980	4.960	4.659	4.940	4.940	4.847	4.843	4.843
	Dim. Ln. (Cm.)	10.124	10.123	10.121	10.120	10.119	10.118	10.118	10.118	10.118	10.117	10.117	10.117
C-6	Amb.												
	Dim To. (Cm.)	5.111	5.107	5.042	4.993	4.972	4.970	4.956	4.939	4.939	4.858	4.855	4.855
	Dim. Rd (Cm.)	5.125	5.122	5.102	5.094	5.084	5.083	5.080	5.079	5.079	5.056	5.050	5.050
	Dim. Ln (Cm.)	10.032	10.030	10.013	10.009	10.002	10.001	9.997	9.991	9.991	9.971	9.971	9.971
C-7	P. Probeta (gr.)	142.200	124.400	111.200	107.900	106.400	106.300	106.100	103.800	105.800	95.400	94.800	94.600
	Dim. Tg. (Cm.)	5.130	5.124	5.058	5.002	4.988	4.978	4.975	4.956	4.956	4.866	4.864	4.864
	Dim. Rd (Cm.)	5.127	5.125	5.112	5.099	5.092	5.088	5.087	5.085	5.085	5.066	5.064	5.064
	Dim. Ln. (Cm.)	10.132	10.131	10.114	10.107	10.102	10.099	10.098	10.093	10.093	10.063	10.062	10.062

	P. Probeta (gr.)	202.300	157.500	128.100	122.700	120.400	119.700	119.200	116.700	118.600	107.300	106.700	106.400
--	------------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Cuadro 16. Fuente: Elaboración propia

COD. PROB.	FECHA REG.	01/6/15	03/6/15	04/6/15	06/6/15	08/6/15	09/6/15	10/6/15	12/6/15	15/6/15	17/6/15	18/6/15	20/6/15
	CONDICIÓN	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	T. Amb.	70. °C	95 °C	105 °C
II-2-6	Dim. Tg. (Cm.)	5.187	5.181	5.106	4.998	4.963	4.962	4.932	4.918	4.918	4.815	4.811	4.811
	Dim. Rd.(Cm.)	5158	5156	5135	5.070	5.051	5.044	5.030	5024	5.024	4.956	4.955	4.955
	Dim. Ln. (Cm.)	10166	10.165	10.160	10.159	10.157	10.156	10.155	10.153	10.153	10.139	10.139	10.139
	P. Probeta (gr.)	191.900	164.500	118.000	111.000	103.300	107.600	107.200	104.900	106.700	96.600	96.000	95.700
II-2-7	Dim.Ta (Cm)												
	Dim Rd. (Cm)	5.146	5.144	5.121	5.072	5.045	5.042	5.034	5.024	5.024	4.955	4.954	4.954
	Dim. Ln. (Cm.)	10.113	10.112	10.110	10.109	10.107	10.106	10.105	10.104	10.104	10.093	10.090	10.090
	P.Probeta (gr.)	195.900	166.300	119.800	113.200	110.200	109.600	109.000	106.400	108.300	98.100	97.400	97.200
II-2-8	Dim. Tg. (Cm)												
	Dim. Rd.(Cm)	5142	5.140	5122	5.083	5.058	5.052	5.037	5027	5027	4972	4.968	4.968
	Din. Ln. (Cm)	10.082	10.081	10.079	10.078	10.076	10.075	10.074	10.074	10.074	10.064	10.064	10.064
	P. Probeta (gr.)	203.800	181.300	131.400	118.600	114.200	113.100	112.300	109.600	111.300	100.800	100.2001	100.000
II-2-9	Dim. Tg (Cm.)												
	Dim. Rd.(Cm)	5.140	5.130	5.103	5.096	5.085	5.081	5.076	5.071	5.071	5.027	5.018	5.018
	Dim. Ln. (Cm.)	10.132	10.131	10.129	10.125	10.124	10.123	10.122	10.122	10.122	10.118	10.118	10.118
	P. Probeta(gr.)	201.900	173.300	127.000	116.600	113.100	112.300	111.800	109.000	111.100	100.400	99.800	99.600
II-2-10	Dim. Tg. (Cm.)												
	Dan. Rd. (Cm)	5.148	5.146	5.111	5.095	5.065	5.055	5.038	5.036	5.036	4.979	4.976	4.976
	Dim. Ln. (Cm.)	10.103	10.102	10.100	10.098	10.097	10.096	10.095	10.093	10.093	10.082	10.082	10.082
	P. Probeta (gr.)	215.300	183.800	128.000	115.800	111.100	110.700	110.100	107.700	108.900	99.000	98.400	98.200

Cuadro 17 Fuente: Elaboración propia

2.5.16.1.3 DENSIDAD.

Para el ensayo de densidad, se procedió de acuerdo a la NORMA INTINTEC 251.011. El método referido consiste en la toma las dimensiones de la probeta en sus tres estados (verde, seco al aire y anhidro) para posteriormente determinar su volumen promedio. En simultáneo con la operación anterior, se pesaron las probetas en sus tres estados; anotándose todo ello en unas tablas para su posterior tratamiento.

Los resultados arrojados son como se muestran a continuación:

COD PROB	DIMENSIONES PROBETA ESTADO ANHIDRO (cm)											VOL. Anhid. (Cm³)	Peso Anhid. (gr.)	Densidad Anhidra (gr/Cm³)
	"a1"	"a2"	"a3"	"a" Prom.	"b1"	"b2"	"b3"	"b" Prom.	"L1"	"L2"	"L" Prom.			
I-3-1	4.995	4.991	4.996	4.991	4.783	4.762	4.801	4.769	10.093	10.091	10.092	241216	93.600	0.388
I-3-2	4.024	5.016	5.005	4.632	4.867	4.863	4.874	4.875	10.106	10.075	10.092	230.347	93.800	0.407
I-3-3	5.010	5.000	5.002	5.004	4.865	4.865	4.862	4.664	10.106	10.111	10.110	246072	94.700	0.385
I-3-4	4.991	4.990	4.993	4.991	4.835	4.826	4.846	4.836	10.014	10.012	10.013	241.679	94.800	0.392
I-3-5	5.005	5.000	5.007	5.004	4.860	4.862	4.875	4.872	10.120	10.131	10.126	246.867	97.000	0.393
II-3-6	5.031	5.050	5.044	5.042	4.923	4.945	4.922	4.930	10.033	10.730	10.382	258.066	115.000	0.446
II-3-7	5.020	5.023	5.035	5.026	5.005	5.003	4.966	4.992	9.962	9.972	9.967	250.070	111.600	0.446
II-3-8	5.062	5.038	5.065	5.052	4.847	4.922	4.889	4.888	10.061	10.099	10.060	2.48.815	113.800	0.457
II-3-9	5.029	5.044	5.033	5.035	4.870	4.871	4.870	4.670	10.001	10.010	10.000	245.352	116.000	0.473
II-310	4.848	4.920	4.931	4.900	4.965	5.031	4.995	5.004	10.069	10.055	10.062	246.716	104.500	0.424
III-311	4.952	5.095	5.091	5.046	4.907	4.996	4.965	4.990	10.131	10.140	10.136	255.220	105.100	0.412
III-3-12	5.035	5.028	5.023	5.029	4.926	4.939	4.921	4.929	10.035	10.025	10.030	248.623	104.800	0.422

III-3-13	5.0G8	5.040	5.035	5.048	4.930	4.916	4.913	4.920	10.130	10.115	10.123	251 416	105.800	0 421
III-3-14	4.990	5.029	5.075	5.031	4.962	4.957	4.926	4.949	10.109	10.109	10.109	251.698	106.200	0.422
III-3-15	5.016	5.030	5.015	5.020	4.865	4.672	4.953	4.903	10.060	10.096	10 069	248.321	118.600	0.478

Cuadro 18 Fuente: Elaboración propia

COD. PROB.	DIMENSIONES PROBETA ESTADO SATURADO (cm.)											VOL. Saturado (Cm³)	Peso Anhid. (gr)	Densidad Básica (gr/Cm³)
	"a1"	"a2"	"a3"	"a" Prom.	"b1"	"b2"	"b3"	"b" Prom	"L1"	"L2"	"L" Prom.			
I-3-1	5 124	5.123	5.124	5.124	5.137	5.136	5.140	5.138	10 131	10.140	10.136	266.852	93.600	0.351
I-3-2	5.137	5.130	5.125	5 131	5.155	5.153	5.146	5.151	10.169	10.152	10 161	268.553	93.800	0.349
I-3-3	5.119	5.119	5.122	5.120	5.156	5.159	5.158	5.156	10.170	10.160	10.175	268 711	94 700	0.352
I-3-4	5.115	5.115	5.122	5.117	5.164	5.151	5.146	5.154	10.065	10.071	10.068	265.524	94.800	0.357
I-3-5	5.126	5.126	5.117	5.124	5 157	5.152	5.145	5.151	10.182	10.191	10 137	268.873	97.000	0.361
II-3-6	5.123	5.129	5.132	5.128	5 135	5.122	5.112	5.123	10.142	10.164	10 153	266 727	115.000	0.431
II-3-7	5 131	5.133	5.134	5133	5131	5.133	5133	5.132	10.060	10.070	10.065	265 138	111 61»	0.421
II-3-8	5.115	5.109	5.107	5.110	5.140	5.134	5128	5.134	10.160	10.178	10 169	266.781	113 8M	0.427
II-3-9	5.101	5.111	5.111	5.108	5.139	5.136	5140	5.136	10.100	10.121	10.111	265 362	116.000	0.437
II-310	5.156	5.170	5.156	5.161	5.090	5 092	5108	5 097	10.111	10.110	10.111	265.976	104.500	0.393
III-3-11	5.133	5.126	5.125	5.129	5.211	5.196	5 178	5.195	10.194	10.167	10.191	271.541	105.100	0.387
III-3-12	5.145	5.147	5.154	5.149	5190	5191	5.167	5.189	10.062	10 068	10.065	268.91	104 800	0.390
III-3-13	5.176	5.182	5.172	5.177	5162	5 164	5.169	5.165	10.149	10160	10.155	271.537	105.800	0390
III-3-14	5.146	5.157	5.155	5.153	5.193	5192	5.176	5.187	10.135	10.154	10.145	271 162	106.200	0 392
III-3-15	5.136	5.136	5 132	5135	5.130	5.127	5.121	5.126	10.181	10.209	10.195	268.353	118.600	0 442

Cuadro 19 Fuente: Elaboración propia

OD. PROB.	DIMENSIONES PROBETA ESTADO SECO AL AIRE											VOL. S.A. (Cm3)	Peso SA (gm)	Peso Anhid. (gr.)	C.H(Cm)	Densidad Sec. Air. (g/Cm³)
	"a1"	"a2"	"a3"	"a" Prom.	"b1"	"b2"	"b3"	"b" Pro	"L1"	"L2"	"L" Prom					
I-3-1	5.043	5.049	5.054	5.049	4.902	4.912	4.920	4.911	10.127	10.130	10.129	251.155	104.500	93.600	11.645	0.416
I-3-2	5.067	5.069	5.048	5.058	4.967	4.977	4.976	4.973	10.146	10.123	10.135	254 930	104.600	93.800	11 514	0.410
I-3-3	5.018	5.046	5.048	5.047	4.973	4.969	4970	4.971	10.145	10.150	10.148	254.599	105.800	94.700	11.721	0.416
I-3-4	5.039	5.041	5.043	5.041	4.946	4.949	4953	4.950	10 046	10.048	10.047	250.702	105.800	94.800	11.603	0.422
I-3-5	5.051	5 047	5.046	5.048	4.960	4.964	4 962	4.962	10.152	10.165	10.159	254.464	106.200	97.000	11.546	0.425
II-3-6	5.047	5.054	5.054	5.052	5.000	4.997	4.989	4.995	10.060	10.111	10.096	254 770	128.400	115.000	11.652	0.504
II-3-7	5.047	5.060	5.057	5.055	5.070	5.005	4.997	5.024	10.090	10.070	10.060	255 995	125.600	111.600	12.545	0.491
II-3-8	5.060	5.077	5.078	5.072	4.967	4.976	4.979	4.971	10.101	10.131	10.116	255.054	126.700	113.800	11.336	0.497
II-3-9	5.068	5.046	5.070	5.062	4.958	4.986	4.978	4.975	10.044	10.050	10.047	253.018	129 100	116.000	11293	0.510
II-310	4.381	5.020	5.000	5.000	5.015	5.045	5.010	5.023	10 095	10.078	10.067	253 335	116.700	104.500	11.675	0.461
III-3-11	5.110	5.120	5.115	5.115	5.073	5.075	5.050	5.066	10.160	10.160	10.160	263.272	117.700	105.100	11.969	0.447
III-3-12	5.055	5.080	5.090	5.075	5.045	5.027	5.005	5.026	10050	10.050	10.050	256.345	117.100	104.800	11.737	0.457
III-3-13	5.105	5.075	5.000	5.067	5.002	5.006	5.004	5.005	10.145	10.130	10.130	258.118	116.100	105.000	11.626	0.458
III-3-14	5.100	5.050	5.082	5.077	5.045	5.030	5.005	5.027	10.125	10.130	10.126	258.486	116.400	106.200	11.498	0.458
III-3-15	5,052	5.060	5.050	5.054	4.980	4.961	4.964	4,976	10.120	10.135	10.126	254.806	132 640	118.600	11.973	0.521

Cuadro 20 Fuente: Elaboración propia

COD PRO.	DIMENCIONES PROBETA EN ESTADO SATURADO (Cm.)											VOL SAT. (Cm-1)	Peso Sat (gr)	Peso Anh. (gr)	CH. (%)	Densidad Sturata (gr/Cm³)
	"a1"	"a2"	"a3"	"a" Prom.	"b1"	"b2"	"b3"	"b" Pro	"L1"	"L2"	"L" Prom					
I-3-1	5.124	5.123	5.124	5.124	5.137	5.135	5-140	5.138	10.131	10.140	10.136	266 652	204.500	93.600	118.483	0.766
I-3-2	5.137	5.130	5.125	5.131	5.155	5153	5.146	5.151	10.169	10.152	10.161	268.563	206.800	93.600	120.469	0.770
I-3-3	5.119	5.113	5.122	5.120	5.158	5.159	5.158	5.158	10.170	10180	10.175	268.711	285.500	94.700	117.001	0.765
I-3-4	5.115	5.115	5.122	5.117	5.164	5.151	5.146	5.154	10.065	10.071	10.068	265.524	203.400	94.800	114 557	0.766
I-3-5	5.128	5.126	5.117	5.124	5.157	5.152	5.145	5.151	10.182	10.191	10.187	268.873	202000	97.000	108.247	0.751
II-3-6	5.123	5.123	5.132	5.128	5.135	5.122	5.112	5.123	10.142	10.164	10.153	266.727	262 600	115.000	138.348	0.385
II-3-7	5.131	5.133	5.134	5.133	5.131	5.133	5.133	5.132	10.060	10.070	10.065	265.138	264 500	111.600	137.007	0.998
II-3-8	5.115	5.109	5.107	5.110	5.140	5.134	5.128	5.134	10.160	10.178	10.189	266.761	261.900	113.600	130.141	0.982
II-3-9	5.101	5.111	5.111	5.108	5.139	5.136	5.140	5.138	10.100	10.121	10.111	265.362	286.800	116.000	147.241	1.081
II-310	5.156	5.170	5.156	5.117	5.090	5.092	5.108	5.097	10.111	10.110	10.111	265.976	236.800	104.500	126.517	0.896

III-3-11	5.133	5.128	5.125	5.124	5.211	5.196	5.178	5.195	10.194	10.187	10.191	271.541	260.200	105.100	147.574	0.956
III-3-12	5.145	5.147	5.154	5.149	5.190	5.191	5.187	5.189	10.062	10.066	10.065	268.918	260.300	104.800	148.378	0.966
III-3-13	5.176	5.182	5.172	5.177	5.162	5.164	5.169	5.165	10.149	10.160	10.155	271.537	258.800	105.800	144.612	0.953
III-3-14	5.146	5.157	5.155	5.153	5.193	5.192	5.176	5.187	10.135	10.154	10.145	271.162	255.100	106.200	140.207	0.941
III-3-15	5.136	5.136	5.132	5.135	5.130	5.127	5.121	5.126	10.181	10.209	10.195	268.353	249.700	118.600	110.540	0.930

Cuadro 21 Fuente: *Elaboración propia*

COD. PROB	DIMENSIONES PROBETA ESTADO VERDE (cm.)											VOL VER. (Cm ³)	PESO Ver (gr.)	Peso Anhid. (gr)	C.H.(%)	Densidad Verde (gr/Cm ³)
	"a1"	"a2"	"a3"	"a" Prom.	"b1"	"b2"	"b3"	"b" Prom.	"L1"	"L2"	"L" Prom.					
I-3-1	5.113	5.117	5.115	5.115	5.132	5.132	5.136	5.133	10.131	10.136	10.134	266.071	148.400	93.600	58.547	0.558
I-3-2	5.132	5.135	5.122	5.130	5.143	5.143	5.142	5.143	10.168	10.147	10.156	268.005	146.800	93.800	56.503	0.548
I-3-3	5.114	5.114	5.120	5.116	5.144	5.134	5.141	5.140	10.165	10.173	10.169	267.406	150.100	94.700	58.501	0.561
I-3-4	5.113	5.112	5.120	5.115	5.144	5.137	5.130	5.137	10.070	10.064	10.067	264.516	146.800	94.800	54.852	0.555
I-3-5	5.123	5.124	5.115	5.121	5.142	5.136	5.133	5.137	10.175	10.184	10.160	267.801	153.500	97.000	58.247	0.573
II-3-6	5.120	5.127	5.126	5.124	5.130	5.121	5.103	5.118	10.136	10.154	10.146	266.075	200.400	115.000	74.281	0.753
II-3-7	5.119	5.129	5.131	5.126	5.130	5.130	5.129	5.130	10.062	10.065	10.064	264.647	195.800	111.600	75.446	0.740
II-3-8	5.106	5.107	5.105	5.107	5.133	5.129	5.121	5.128	10.159	10.177	10.168	266.267	169.900	113.800	66.672	0.713
II-3-9	5.099	5.107	5.106	5.104	5.135	5.144	5.140	5.140	10.097	10.121	10.109	265.205	194.000	116.000	67.241	0.732
II-3-10	5.151	5.161	5.152	5.155	5.090	5.088	5.104	5.094	10.106	10.105	10.105	265.353	208.400	104.500	99.426	0.785
III-3-11	5.123	5.118	5.111	5.117	5.211	5.187	5.178	5.192	10.192	10.182	10.187	270.643	233.100	105.100	121.769	0.861
III-3-12	5.138	5.138	5.153	5.143	5.181	5.190	5.184	5.185	10.060	10.065	10.063	268.315	236.600	104.800	125.763	0.862
III-3-13	5.163	5.131	5.174	5.173	5.158	5.164	5.166	5.163	10.147	10.157	10.152	271.142	232.700	105.800	119.943	0.853
III-3-14	5.135	5.149	5.147	5.144	5.193	5.191	5.176	5.137	10.133	10.152	10.143	270.635	227.800	106.200	114.501	0.842
III-3-15	5.132	5.130	5.130	5.131	5.125	5.123	5.119	5.122	10.173	10.196	10.185	267.672	213.500	118.600	80.017	0.798

Cuadro 22 Fuente: *Elaboración propia*

2.5.17 ENSAYO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

2.5.17.1 COMPRESION PARALELA A LA FIBRA.

Se realizó según la NORMA INTINTEC 251.014. contando a priori con las probetas necesarias y luego de preparar e instrumentar la "Maquina Universal" se procedió a realizar el ensayo correspondiente.

Previamente se tomaron las dimensiones a las probetas (3 de la sección "a", 3 de la sección "b" y 3 de la altura "h"; 9 en total) mediante "vernier", con la finalidad de determinar su volumen promedio; luego de lo cual se procedió a pesarlas en ese estado (peso húmedo o verde).

Una vez instalada la muestra en la máquina universal y partiendo desde cero se le aplicó de manera controlada y continua una carga axial paralela a la fibra hasta su rotura. Simultáneamente se registraron las deformaciones totales que sufre la probeta durante el ensayo, mediante un "deformímetro", a intervalos de carga de 250 kg.

Una vez finalizado el ensayo mecánico, las probetas fueron depositadas en la estufa a una temperatura de 105°C hasta su deshidratación total, luego de lo cual nuevamente se las pesó (peso anhidro).

Todos los datos obtenidos se anotaron en la página correspondiente del "Registro de Ensayos" diseñado para la presente tesis.

En esta parte aclararemos que:

1. Los registros dimensionales y los registros de pesos nos servirán para determinar el contenido de humedad y la densidad básica, y los registros de carga / deformación total nos servirán para determinar el esfuerzo y la deformación unitaria.
2. Los ensayos son lo mismo para las probetas en estado preservado y no preservado.

Los resultados arrojados y el tratamiento de datos, para las probetas “1” son como se muestran a continuación:

N DE LECTURA	CARGA (KG.)	DEFORMACION TOTAL (mm.)	ESFUERZO $\sigma = \frac{P}{A} \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$	DEFORMACIÓN UNITARIA $DU = \frac{DT}{H} \left(\frac{mm}{mm} \right)$
1	250	0.480	9.80	0.0024
2	500	0.820	19.60	0.0041
3	750	1.040	29.40	0.0052
4	1000	1.240	39.20	0.0062
5	1250	1.420	49.00	0.0071
6	1500	1.590	58.80	0.0080
7	1750	1.730	68.60	0.0087
8	2000	1.880	78.40	0.0094
9	2250	2.010	88.20	0.0101
10	2500	2.120	98.00	0.0106
11	2750	2.280	107.80	0.0114
12	3000	2.410	117.60	0.0121
13	3250	2.560	127.40	0.0128
14	3500	2.750	137.20	0.0138
15	3750	3.190	147.00	0.0160
16	3775	4.840	147.98	0.0242
17	3525	5.600	138.18	0.0280
18	3275	8.320	128.38	0.0416

Cuadro 23: Datos procesados, Comp. Paralela a la fibra - probeta 1
Fuente: Elaboración propia

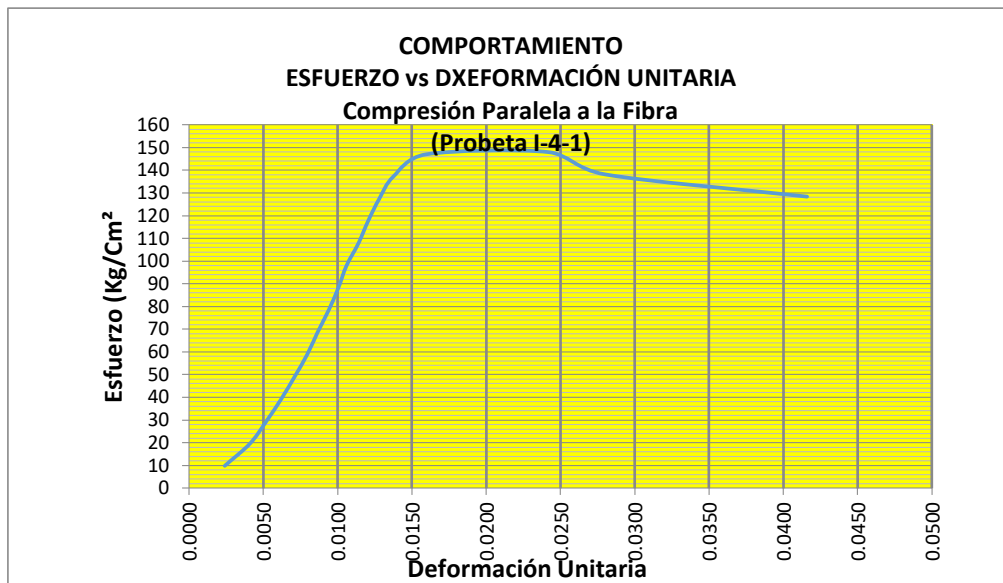


Figura 53: Comportamiento, Comp. Par. Fibra - probeta 1.
Fuente: Elaboración propia

2.5.17.2 COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA.

Se realizó según la NORMA INTINTEC 251.016. Contando a priori con las probetas necesarias y luego de preparar e instrumentar la “Maquina Universal” se procedió a realizar el ensayo correspondiente.

Previamente se tomaron las dimensiones a las probetas (3 de la sección “a”, 3 de la sección “b” y 3 de la altura “h”; 9 en total) mediante “vernier”; con la finalidad de determinar su volumen promedio, luego de lo cual se procedió a pesar cada una de las probetas en ese estado (peso húmedo o verde).

Una vez instalada la muestra en la máquina universal y partiendo desde cero se le aplicó de manera controlada y continua una carga axial perpendicular a la fibra hasta su punto de “falla”. Simultáneamente se registraron las deformaciones totales que sufre la probeta durante el ensayo, mediante un “deformímetro”, a intervalos de carga de 50 kg.

Una vez finalizado el ensayo mecánico, las probetas fueron depositadas en la estufa a una temperatura de 105°C hasta su deshidratación total, luego de lo cual nuevamente se las peso (peso anhidro).

Todos los datos obtenidos se lo anotaron en la página correspondiente del “Registro de Ensayos” diseñado para la presente tesis.

En esta parte aclararemos que:

1. Los registros dimensionales y los registros de pesos nos servirán para determinar el contenido de humedad y la densidad básica, y los registros de

carga / deformación total nos servirán para determinar el esfuerzo y la deformación unitaria.

2. Los ensayos son lo mismo para las probetas en estado preservado y no preservado.
3. La “falla” producida en las probetas producto de la carga continua, se produce por cizallamiento entre las fibras y no por compresión.

Los resultados arrojados y el tratamiento de datos, para las probetas “1” son como se muestran a continuación (los resultados del resto de probetas, ver CD adjunto):

DATOS DEL ENSAYO DE COMPRESION PERPENDICULAR

N DE LECTURA	CARGA (KG.)	DEFORMACION TOTAL (mm.)	ESFUERZO $\sigma = \frac{P}{A} \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$	DEFORMACIÓN UNITARIA $DU = \frac{DT}{H} \left(\frac{mm}{mm} \right)$
1	50	0.250	3.92	0.0017
2	100	0.600	3.92	0.0040
3	150	0.900	5.88	0.0060
4	200	1.030	7.84	0.0069
5	250	1.280	9.80	0.0085
6	300	1.530	11.76	0.0102
7	350	1.950	13.72	0.0130
8	400	2.570	15.68	0.0171
9	450	3.620	17.64	0.0241
10	500	6.000	19.60	0.0400
11	550	20.900	21.56	0.1393
12	575	26.500	22.54	0.1767

Cuadro 24: Datos procesados, Comp. Perp. a la fibra - probeta 1.
Fuente: Elaboración propia

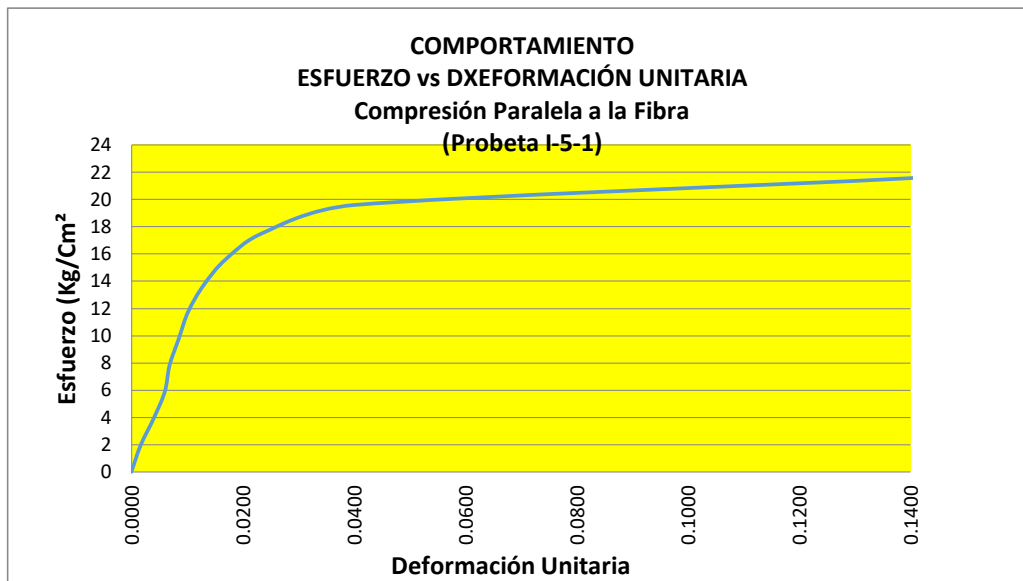


Figura 54: Comportamiento, Comp. Perp. Fibra - probeta 1.
Fuente: Elaboración propia

2.5.17.3 TRACCION PARALELA A LA FIBRA.

Se procedió conforme la NORMA DIN 2188. contando con las probetas necesarias y luego de preparar e instrumentar la “Maquina Universal” se procedió a realizar el ensayo correspondiente.

Previamente se tomaron las dimensiones de las probetas en su sección circular (2 extremos y parte media) mediante un “vernier”; con la finalidad de determinar su diámetro promedio.

Una vez instalada la muestra correctamente en la máquina universal y partiendo desde cero se le aplicó de manera controlada y continua una carga traccionante paralela a la fibra, hasta su punto de rotura. Simultáneamente se registraron las deformaciones totales que sufre la probeta en su sección circular durante el ensayo mediante un “deformímetro”; a intervalos de carga de 20 kg.

Una vez finalizado el ensayo mecánico, se cortó una porción de cada una de las probetas, se determinó el volumen de cada una de ellas, se las pesó (peso húmedo), luego se las depositó en la estufa a una temperatura de 105°C hasta su deshidratación total; luego de lo cual nuevamente se las peso (peso anhidro).

Todos los datos obtenidos se lo anotaron en la página correspondiente del “Registro de Ensayos” diseñado para la presente tesis.

En esta parte aclararemos que:

1. Los registros dimensionales y los registros de pesos nos servirán para determinar el contenido de humedad y la densidad básica, y los registros de carga / deformación total nos servirán para determinar el esfuerzo y la deformación unitaria.
2. Los ensayos son lo mismo para las probetas en estado preservado y no preservado.

Los resultados arrojados y el tratamiento de datos, para las probetas “1” son como se muestran a continuación:

DATOS PROCESADOS DEL ENSAYO A LA TRACCION PARALELA A LA FIBRA

N DE LECTURA	CARGA (KG.)	DEFORMACION TOTAL (mm.)	ESFUERZO $\sigma = \frac{P}{A} \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$	DEFORMACIÓN UNITARIA $DU = \frac{DT}{H} \left(\frac{mm}{mm} \right)$
1	20.000	0.120	21.778	0.0012
2	40.000	0.260	43.556	0.0026
3	60.000	0.380	65.333	0.0038
4	80.000	0.530	87.111	0.0053
5	100.000	0.640	108.889	0.0064
6	120.000	0.760	130.667	0.0076
7	140.000	0.870	152.444	0.0087
8	160.000	0.980	174.222	0.0098
9	180.000	1.100	196.000	0.011
10	200.000	1.180	217.778	0.0118
11	220.000	1.320	239.556	0.0132
12	240.000	1.450	261.333	0.0145
13	260.000	1.630	283.111	0.0163
14	280.000	1.860	304.889	0.0186
15	300.000	2.250	326.667	0.0225
16	305.000	2.630	332.111	0.0263

Cuadro 25 Fuente: Elaboración propia

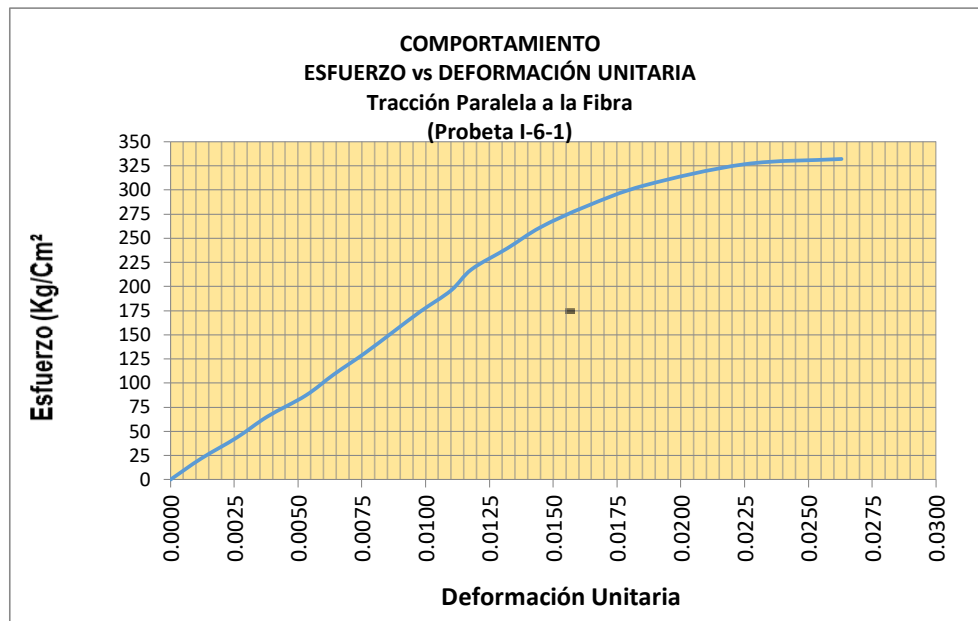


Figura 55 Fuente: Elaboración propia

2.5.17.4 FLEXION ESTATICA

Para realizar el presente ensayo nos regimos conforme a la NORMA ITINTEC 251.017. Contando con las probetas necesarias y luego de preparar e instrumentar la “Maquina Universal” se procedió a realizar el ensayo correspondiente.

Previo a todo se tomaron las dimensiones a las probetas (3 de la sección “a”, 3 de la sección “b” y 3 de la altura “h”; 9 en total) mediante “vernier”.

Una vez instalada la muestra correctamente en la máquina universal a manera de una viga simplemente apoyada, y partiendo desde cero se le aplicó de manera continua una carga concentrada y ascendente, en su parte central, hasta la rotura. Simultáneamente se registraron las flechas que sufrió la probeta en el punto de aplicación de la carga durante el ensayo mediante el uso del “nivel de ingeniero”, tomando las lecturas en una escala preparada especialmente para este ensayo; a intervalos de carga de 20 kg.

Una vez finalizado el ensayo mecánico, se cortó una porción de cada una de las probetas (adyacente a la zona de falla), de la cuál se determinó su contenido de humedad y su densidad básica.

Todos los datos obtenidos se lo anotaron en la página correspondiente del “Registro de Ensayos” diseñado para la presente tesis.

Los resultados arrojados y el tratamiento de datos, para las probetas “1” son como se muestran a continuación (los resultados del resto de probetas, ver CD adjunto):

DATOS PROCESADOS DEL ENSAYO A LA FLEXION ESTATICA-PROBETA

1

N DE LECTURA	CARGA (KG.)	FLECHA(F) (mm.)	ESFUERZO $\sigma = \frac{3PL}{2ab^2} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	DEFORMACIÓN UNITARIA $DU = 6 x f x b x L^{-2}$
1	20.000	0.500	16.2758	0.0003
2	40.000	1.200	32.5517	0.0008
3	60.000	1.600	48.8275	0.0010
4	80.000	2.000	65.1034	0.0013
5	100.000	2.500	81.3792	0.0016
6	120.000	3.100	97.6550	0.0019
7	140.000	3.600	113.9309	0.0023
8	160.000	4.200	130.2067	0.0026
9	180.000	5.000	146.4826	0.0031
10	200.000	5.500	162.7584	0.0034
11	220.000	6.100	179.0342	0.0038
12	240.000	7.000	195.3101	0.0044
13	260.000	7.800	211.5859	0.0049
14	280.000	9.200	227.8618	0.0058
15	300.000	11.000	244.1376	0.0069
16	320.000	13.600	260.4134	0.0085
17	340.000	16.400	276.6893	0.0103
18	360.000	19.600	292.9651	0.0123
19	380.000	26.500	309.2410	0.0166

Cuadro 26: Datos procesados, Flexión Estática - probeta 1
Fuente: Elaboración propia

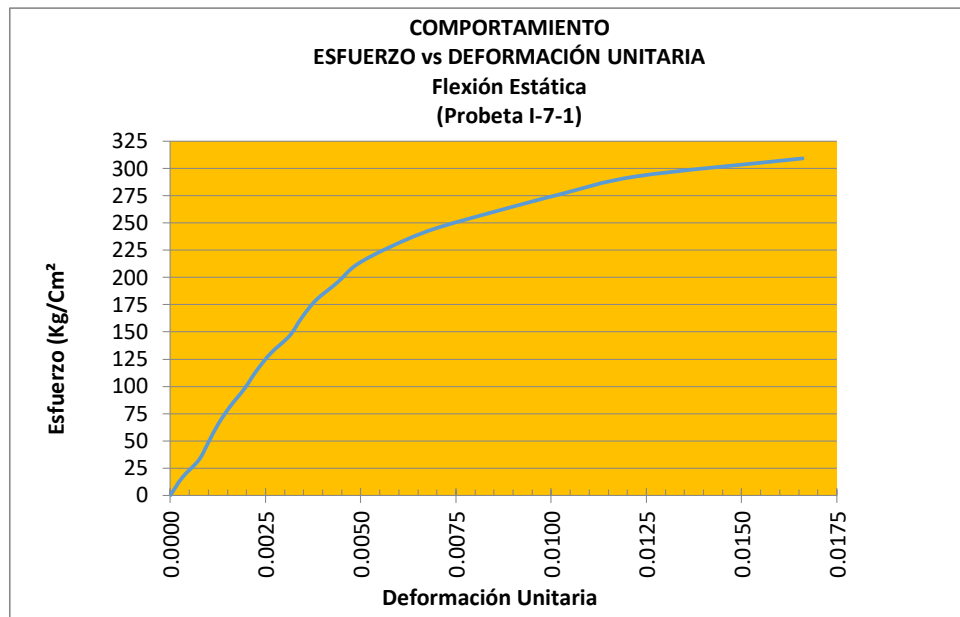


Figura 56 *Fuente: Elaboración propia*

2.5.17.5 CORTE PARALELO A LA FIBRA

El presente ensayo lo realizamos de acuerdo a la NORMA ITINTEC 251.013. contando con las probetas necesarias y luego de preparar e instrumentar la “Maquina Universal” se procedió a realizar el ensayo correspondiente.

Previo a todo se tomaron las dimensiones del plano de falla de las probetas mediante “vernier” y se las peso mediante balanza electrónica de precisión.

Una vez instalada la muestra correctamente en el dispositivo de cizallamiento de la máquina universal, de tal manera que una parte de la probeta quedara perfectamente anclada a dicho dispositivo y la otra parte quedara libre; se le aplico en la superficie superior de la parte libre de dicha probeta, una carga controlada y continua de 3 Kg./seg. en promedio, mediante la cizalla hasta su punto de falla. Aclaramos que en este tipo de ensayo solamente se registraron las cargas máximas de falla.

Una vez finalizado el ensayo mecánico, se determinó el volumen de cada una de las probetas (usando la técnica de inmersión en agua), luego se las depositó en la estufa a una temperatura de 105°C hasta su deshidratación total; finalmente se determinó su peso seco (peso anhidro).

Todos los datos obtenidos se lo anotaron en la página correspondiente del “Registro de Ensayos” diseñado para la presente tesis.

En esta parte aclararemos que:

1. Los registros dimensionales y los registros de pesos nos servirán para determinar el contenido de humedad, la densidad básica y el área de corte, y los registros de carga máxima nos servirán para determinar el esfuerzo de corte.
 2. Los ensayos son lo mismo para las probetas en estado preservado y no preservado.
- Los resultados arrojados y el tratamiento de datos, son como se muestran a continuación:

Corte Paralelo a la fibra de las probetas de CORTE PARALELO.

N°	CODIGO PROBETA	CONTENIDO DE HUMEDAD			DENSIDAD BASICA		
		Peso Verde (gr.)	Peso Anhidro (gr.)	Contenido Humedad %	Volume Saturado (Cm)	Peso Anhidro (gr.)	Densidad Básica (gr./Cm)
1	III-8-1	145.000	71.600	102.514	160.000	71.600	0.448
2	III-8-2	145.800	71.800	103.064	155.000	71.800	0.463
3	III-8-3	143.100	71.100	101.266	151.000	71.100	0.471
4	III-8-4	147.100	72.800	102.060	155.000	72.800	0.470
5	III-8-5	130.700	72.500	80.276	145.000	72.500	0.500
6	II-8-6	122.400	57.300	113.613	150.000	57.300	0.382
7	I-8-7	111.200	56.200	97.865	145.000	56.200	0.388
8	II-8-8	129.800	70.000	85.429	142.000	70.000	0.493
9	II-8-9	111.300	68.800	61.773	142.000	68.800	0.485
10	II-8-10	109.900	71.900	52.851	151.000	71.900	0.476
11	II-8-11	122.100	72.700	67.950	148.000	72.700	0.491
12	I-8-12	124.700	57.600	116.493	145.000	57.600	0.397
13	I-8-13	122.800	58.400	110.274	150.000	58.400	0.389
14	I-8-14	123.400	59.100	108.799	143.000	59.100	0.413
15	I-8-15	113.700	57.400	98.084	150.000	57.400	0.383

Cuadro 27: Densidad Básica, Corte Paralelo a la fibra.
Fuente: Elaboración propia

N	CODIGO PROBETA	CONT. HUMEDAD %	DENS. BASICA (gr./Cm.)	CARGA (Kg.)	AREA CORTE (Cm)	ESFUERZO DE CORTE $\sigma = \frac{P}{A} \left(\frac{Kg}{Cm^2} \right)$	TIEMPO DE ENSAYO.	VELOCIDAD DE ENSAYO (Kg./seg.)
1	III-8-1	102.514	0.448	1120	26.739	41.886	5 min. 50 seg.	3.200
2	III-8-2	103.064	0.463	1080	26.567	0.041	4 min. 50 seg.	3.724
3	III-8-3	101.266	0.471	1120	26.504	42.258	4 min. 50 seg.	3.862
4	III-8-4	102.060	0.470	1060	26.748	39.629	6 min. 5 seg.	2.904
5	III-8-5	80.276	0.500	1105	26.3	42.015	6 min. 31 seg.	2.826
6	II-8-6	113.613	0.382	910	26.288	34.617	5 min. 10 seg.	2.935
7	I-8-7	97.865	0.388	855	25.508	33.519	5 min. 35 seg.	2.552

8	II-8-8	85.429	0.493	1490	25.711	57.952	7 min. 1 seg.	3.539
9	II-8-9	61.773	0.485	1380	25.742	53.609	13 min. 10 seg.	1.747
10	II-8-10	52.851	0.476	1345	26.352	51.040	6 min. 15 seg.	3.587
11	II-8-11	67.950	0.491	1270	26.392	48.121	7 min. 30 seg.	2.822
12	I-8-12	116.493	0.397	1085	26.199	41.414	7 min. 8 seg.	2.535
13	I-8-13	110.274	0.389	1230	26.112	47.105	7 min. 50 seg.	2.617
14	I-8-14	108.799	0.413	635	26.491	23.970	4 min. 10 seg.	2.540
15	I-8-15	98.084	0.383	675	26.291	25.674	6 min. 20 seg.	1.776
Velocidad Prom. Ensayo kg/seg								2.878

Cuadro 28: Datos procesados, Corte Paralelo a la fibra
Fuente: Elaboración propia

2.5.17.6 DUREZA BRINELL

Para realizar el presente ensayo nos regimos mediante la NORMA ITINTEC 251.015. contando con las probetas necesarias se acondicionó para éste ensayo la “Maquina Universal.

En forma previa se identificó la dirección del corte de cada cara de cada probeta, se determinó el centroide de cada una de las caras y luego se obtuvo su peso en estado húmedo.

Una vez instalada y centrada la muestra correctamente en la máquina universal, se “entintó” la esfera penetradora del dispositivo de penetración y se le aplicó una carga constante de 100 Kg. (por un tiempo promedio de 30 seg.) sobre el centroide de cada cara de las probeta; dejando una huella semejante a un casquete esférico del cuál inmediatamente después se determinó su diámetro.

Una vez finalizado el ensayo mecánico, se determinó el volumen de cada una de las probetas (usando la técnica de inmersión en agua), se las depositó en la estufa a una temperatura de 105°C hasta su deshidratación total; finalmente se las peso en su estado seco (peso anhidro).

Todos los datos obtenidos se lo anotaron en la página correspondiente del “Registro de Ensayos” diseñado para la presente tesis.

En esta parte aclararemos que:

1. Los registros de pesos y volúmenes nos servirán para determinar el contenido de humedad y la densidad básica, y los registros dimensionales de impresión de la esfera penetradora nos servirán para determinar el coeficiente de dureza Brinell.

2. Los ensayos son lo mismo para las probetas en estado preservado y no preservado.

Los resultados obtenidos y el tratamiento de datos, son como se muestran a continuación.

N	CODIGO PROBETA	CONTENIDO DE HUMEDAD			DENSIDAD BASICA		
		Peso Verde (gr.)	Peso Anhidro (gr.)	Contenido Humedad %	Volume Saturado (Cm)	Peso Anhidro (gr.)	Densidad Básica (gr./Cm)
1	I-9-1	123.000	99.700	23.370	250.000	99.700	0.399
2	I-9-2	125.300	101.000	24.059	260.000	101.000	0.388
3	I-9-3	121.200	98.800	22.672	243.000	98.800	0.407
4	I-9-4	130.400	99.600	30.924	252.000	99.600	0.395
5	I-9-5	134.000	99.300	34.945	255.000	99.300	0.389
6	II-9-6	153.100	99.400	54.024	251.000	99.400	0.396
7	III-9-7	158.200	111.400	42.011	242.000	111.400	0.460
8	II-9-8	151.200	111.400	35.727	255.000	111.400	0.437
9	II-9-9	155.900	122.500	27.265	252.000	122.500	0.486
10	II-9-10	166.900	115.500	44.502	252.000	115.500	0.458
11	II-9-11	155.600	123.500	25.992	259.000	123.500	0.477
12	III-9-12	154.600	109.600	41.058	248.000	109.600	0.442
13	III-9-13	172.700	120.400	43.439	253.000	120.400	0.476
14	III-9-14	172.000	120.800	42.384	260.000	120.800	0.465
15	II-9-15	151.800	125.400	21.053	258.000	125.400	0.486

**Cuadro 29: Contenido de humedad y Densidad Básica para
El cálculo de la Dureza Brinell.
Fuente: Elaboración propia**

N	CODIGO PROBETA	CONT. HUMEDAD %	Densidad Básica (gr./Cm)	DIAMETROS DE PENETRACION EN CARAS DE PROBETAS (mm)											Coeficiente de DUREZA BRINEL		
				CARA RADIAL					CARA TANGENCIAL			EXTREMOS					
				d1	d2	d3	d4	d"P"	d1	d2	d"P"	d1	d2	d"P"	HB Radial	HB Tangencial	HB Extremos
1	I-9-1	23.370	0.399	9.895	7.800	-	-	8.848	8.715	8.680	8.698	5.805	7.070	6.438	1.192	1.257	2.712
2	I-9-2	24.059	0.388	8.520	9.530	-	-	9.025	8.150	8.575	8.363	6.290	6.215	6.253	1.118	1.410	2.899
3	I-9-3	22.672	0.407	8.330	9.120	-	-	8.725	8.625	8.015	8.320	7.000	7.190	7.095	1.245	1.430	2.156
4	I-9-4	30.924	0.395	7.630	8.700	-	-	8.165	8.340	8.325	8.333	7.330	7.395	7.363	1.506	1.424	1.969
5	I-9-5	34.945	0.389	7.890	8.300	-	-	8.095	9.710	8.820	9.265	7.700	6.970	7.335	1.542	1.021	1.988
6	II-9-6	54.024	0.396	8.820	7.725	7.520	8.690	8.189	-	-	-	8.545	7.860	8.203	1.494	-	1.487
7	III-9-7	42.011	0.460	8.365	8.335	8.130	8.170	8.250	-	-	-	6.935	6.960	6.948	1.464	-	2.268
8	II-9-8	35.727	0.437	7.525	7.685	8.360	8.485	8.014	-	-	-	6.260	6.840	6.550	1.584	-	2.605
9	II-9-9	27.265	0.486	7.070	8.520	-	-	7.795	8.390	7.780	8.085	6.350	6.030	6.190	1.704	1.547	2.966
10	II-9-10	44.502	0.458	8.720	8.370	7.625	7.805	8.130	-	-	-	7.680	7.890	7.785	1.524	-	1.710
11	II-9-11	25.992	0.477	7.660	8.020	-	-	7.840	7.040	8.840	7.940	6.955	5.590	6.273	1.679	1.624	2.878
12	III-9-12	41.058	0.442	7.380	8.610	7.390	7.850	7.808	-	-	-	7.190	8.510	7.850	1.697	-	1.673
13	III-9-13	43.439	0.476	8.375	7.410	-	-	7.893	7.455	7.920	7.688	7.640	7.990	7.815	1.650	1.766	1.693

14	III-9-14	42.384	0.465	7.720	7.620	-	-	7.670	7.510	7.825	7.668	7.900	7.900	7.900	1.777	1.778	1.645
15	II-9-15	21.053	0.486	7.715	7.180	-	-	7.448	7.600	7.665	7.633	5.400	7.770	6.585	1.914	1.799	2.573

Cuadro 30: Dureza Brinell, probetas

Fuente: elaboración propia

2.5.18 De los instrumentos estadísticos utilizados.-

Para el desarrollo de procesamiento de datos del presente estudio, se utilizó el software estadístico SPSS versión en español y el programa Microsoft Excel versión 2010.

2.6 Aspectos éticos

Los autores hacemos una deferencia de respeto a todos los autores citados en el presente proyecto.

III. RESULTADOS

III.1 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

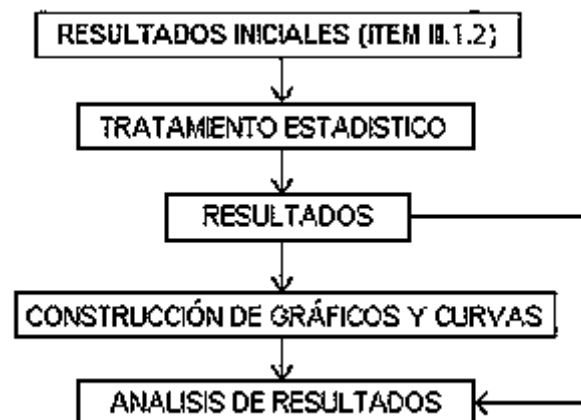
En el ítem 2.5.16 y 17 se determinaron los resultados iniciales, los cuales en el presente ítem serán sometidos a tratamientos estadísticos con el fin de obtener los resultados finales de esta investigación.

III.1.1 BASES PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Se tendrá como base lo estipulado en el ítem III.1.2 y teniendo como precedente otros trabajos relativos a la materia de investigación, el procesamiento y análisis de resultados se regirá bajo la siguiente premisa: ***“El tratamiento estadístico de los resultados iniciales obtenidos en el ítem III.1.2 constituye el mecanismo más adecuado para obtener los resultados finales”***.

III.1.2 PROCESOS REALIZADOS EN EL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

El presente flujograma ilustra claramente el mecanismo de procesamiento y análisis de resultados.



Flujograma N° 2: Procesos realizados en el tratamiento de datos.

Fuente: Elaboración propia

Con los **“RESULTADOS INICIALES”** obtenidos en el ítem III.5.4, procedemos de la siguiente manera:

1º) TRATAMIENTO ESTADISTICO. El tratamiento estadístico será ejecutado mediante el uso del programa Excel. Los valores estadísticos calculados son los siguientes:

-DESVIACIÓN ESTANDAR (S.D). Es una medida de dispersión o variabilidad de los datos; cuando la distribución de frecuencias es larga y abatida, el valor “S.D” es grande, lo cual indica mucha variación, cuando hay poca variabilidad, los valores se aglomeran alrededor del promedio, y el valor “S.D” es pequeño.

La desviación estándar se define como la raíz cuadrada del promedio de la desviación al cuadrado de los resultados de la prueba y se calcula con la formula siguiente:

$$S.D = \sqrt{\frac{(X1 - \bar{X})^2 + (X2 - \bar{X})^2 + \dots + (Xn - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

X1, X2,.....Xn: Valores individuales de los ensayos.

$\bar{X} = \left(\frac{\sum X}{n} \right)$: Valor promedio de los ensayos.

n : Número de ensayos.

Fórmula 1: Desviación Estándar.

-COEFICIENTE DE VARIACIÓN (C.V): Es una medida de variación relativa, que se define como el cociente entre la desviación estándar y el valor promedio de las pruebas, simbólicamente lo expresamos así:

$$C.V = \frac{S.D \times 100}{\bar{X}}$$

Fórmula 2: Coeficiente de Variación.

-VALOR PROMEDIO: En el desarrollo del presente trabajo se ha utilizado con mucha incidencia éste indicador o valor estadístico, que para datos agrupados es válida la siguiente fórmula:

$$M(X) : \frac{\sum X}{n}$$

Donde:

M(X): Valor promedio de los datos.

$\sum X$: Sumatoria de los “n” datos.

n : Número de datos que forman el grupo.

Fórmula 3: Media aritmética o valor promedio.

-LÍMITE DE EXCLUSIÓN DEL 5%: El Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino recomienda usar este indicador para los resultados relativos a los ensayos de carácter mecánico. Con el valor de este indicador, se espera que de toda la población existente de dicha especie solamente el 5% tenga una resistencia menor que este valor.

Este indicador se obtiene ordenando los resultados de los ensayos en forma creciente; el valor que define el límite de exclusión del 5% es el del ensayo número 0.05N, donde N es el número de probetas ensayadas. Se ha adoptado este criterio en lugar de suponer una distribución normal y determinar probabilísticamente el 5º percentil, por que representa un mejor estimado para toda la población de árboles de la especie y no sólo de los ensayados.

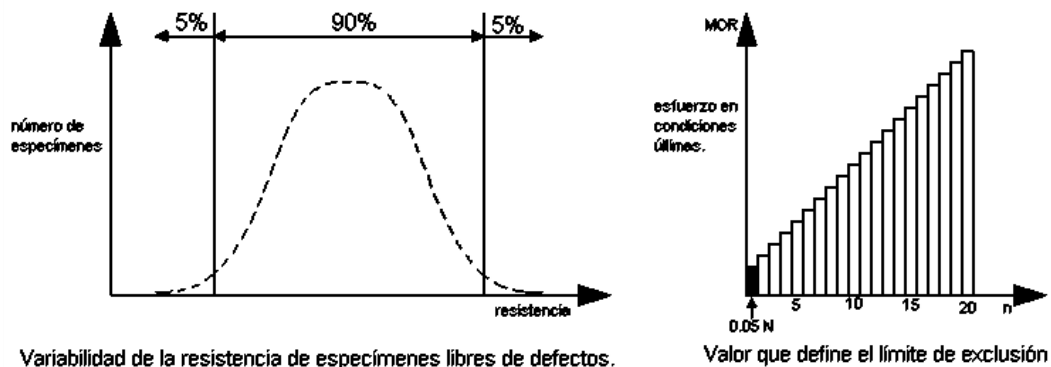


Figura 57: Explicación y deducción Gráfica del límite de exclusión.

2º) RESULTADOS. Los resultados devendrán del tratamiento estadístico, se tendrá en cuenta las recomendaciones establecidas en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

3º) CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS Y CURVAS. Una vez obtenidos y seleccionados los resultados a través del procesamiento estadístico, se construirán gráficos para una mejor diferenciación de los resultados finales; así mismo se construirán curvas con la finalidad de predecir comportamientos tanto de la madera en estado de preservación como en estado no preservado, todos estos elementos servirán como ayuda en el análisis de los resultados finales de la investigación.

4º) ANÁLISIS DE RESULTADOS. Contando ya con los resultados finales, con los gráficos y curvas necesarias; se realizará un análisis de los resultados finales, el cuál consistirá en explicar la naturaleza de los mismos, precisar las diferencias más notorias, establecer la variación o no de los resultados relativos a las probetas no preservadas con respecto a las preservadas y determinar elementos de correlación entre los resultados de madera preservada y no preservada para una misma propiedad física o mecánica.

El porcentaje de variación se lo expresa teniendo en cuenta que el valor que representa el 100% es el que corresponde al de las probetas No preservadas y la diferencia entre éste valor y el valor relativo al de las probetas Preservadas viene a ser dicha variación expresada en porcentaje.

Luego de realizado el análisis se establecen las conclusiones finales.

III.2 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS POR TIPO DE ENSAYO REALIZADO.

ANÁLISIS DE RESULTADOS: CONTENIDO DE HUMEDAD. Como se aprecia en el gráfico anterior relativo a los valores promedio del contenido de humedad de las probetas, ambos resultados superan con creces el 30%, lo que indica

que las probetas se encontraban por encima del Punto de Saturación de la Fibra, en sus condiciones más desfavorables de servicio.

El porcentaje en peso, que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra es alto debido a que las probetas fueron habilitadas y ensayadas en estado verde.

III.2.1 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS: CONTRACCIÓN.

III.2.1.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO: CONTRACCIÓN.

Nº	CODIGO PROBETA	Dimensión Tangencial en Estado Verde $CH \geq 30\%$	Dimensión Tangencial en Estado Seco al Aire $CH \leq 12\%$	Contracción Tangencial Normal $C_{tn} = \frac{dvt - dst}{dvt} \times 100(\%)$
1	I-2-1	5.111	4.939	3.365
2	I-2-2	5.130	4.956	3.392
3	I-2-3	5.102	4.908	3.802
4	I-2-4	5.133	4.922	4.111
5	I-2-5	5.146	4.938	4.042
6	I-2-6	5.187	4.918	5.186
7	II-2-7	-----	-----	-----
8	II-2-8	-----	-----	-----
9	II-2-9	-----	-----	-----
10	II-2-10	-----	-----	-----
11	II-2-11	-----	-----	-----
12	III-2-12	-----	-----	-----
13	III-2-13	-----	-----	-----
14	III-2-14	-----	-----	-----
15	III-2-15	-----	-----	-----
M(X)		5.135	4.930	3.983
S(D)		0.027	0.016	0.610
CV%		0.534	0.322	15.310

Cuadro 31: Trat. Est.: CONTRACCIÓN TANGENCIAL NORMAL
Fuente: Elaboración propia

Nº	CODIGO PROBETA	Dimensión Tangencial en Estado Verde $CH \geq 30\%$	Dimensión Tangencial en Estado Anhidro $CH \approx 0\%$	Contracción Tangencial Total $C_{tt} = \frac{dvt - dsht}{dvt} \times 100(\%)$
1	I-2-1	5.117	4.752	7.133
2	I-2-2	5.109	4.752	6.988
3	I-2-3	5.095	4.758	6.614
4	I-2-4	5.084	4.721	7.140
5	I-2-5	5.090	4.719	7.289
6	I-2-6	5.103	4.799	5.957
7	II-2-7	-----	-----	-----
8	II-2-8	-----	-----	-----
9	II-2-9	-----	-----	-----
10	II-2-10	-----	-----	-----
11	II-2-11	-----	-----	-----
12	III-2-12	-----	-----	-----
13	III-2-13	-----	-----	-----
14	III-2-14	-----	-----	-----

15	III-2-15	-----	-----	-----
	M(X)	5.100	4.750	6.854
	S(D)	0.011	0.027	0.452
	CV%	0.221	0.562	6.601

Cuadro 32: Trat. Est.: CONTRACCIÓN TANGENCIAL TOTAL

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 61: Trat. Est.: CONTRACCIÓN RADIAL NORMAL Nº	CODIGO PROBETA	Dimensión Radial en Estado Verde $CH \geq 30\%$	Dimensión Radial en Estado Seco al Aire $CH \leq 12\%$	Contracción Radial Normal $C_{rn} = \frac{d_{vr} - d_{sr}}{d_{vr}} \times 100(\%)$
1	I-2-1	5.101	5.040	1.196
2	I-2-2	5.114	5.064	0.978
3	I-2-3	5.089	5.028	1.199
4	I-2-4	5.100	5.018	1.608
5	I-2-5	5.100	5.001	1.941
6	I-2-6	5.111	5.019	1.800
7	II-2-7	5.104	5.031	1.430
8	II-2-8	5.104	4.996	2.116
9	II-2-9	5.103	5.023	1.568
10	II-2-10	5.127	5.019	2.106
11	II-2-11	5.081	4.970	2.185
12	III-2-12	5.072	4.967	2.070
13	III-2-13	5.081	4.982	1.948
14	III-2-14	5.100	5.011	1.745
15	III-2-15	5.080	4.967	2.224
M(X)		5.098	5.009	1.741
S(D)		0.014	0.027	0.384
CV%		0.279	0.549	22.078

Cuadro 33: Trat. Est.: CONTRACCIÓN RADIAL NORMAL

Fuente: Elaboración propia

Nº	CODIGO PROBETA	Dimensión Radial en Estado Verde $CH \geq 30\%$	Dimensión Radial en Estado Anhidro $CH \approx 0\%$	Contracción Radial Total $C_{rt} = \frac{d_{vr} - d_{shr}}{d_{vr}} \times 100(\%)$
1	I-2-1	5.101	4.981	2.352
2	I-2-2	5.114	4.984	2.542
3	I-2-3	5.089	4.972	2.299
4	I-2-4	5.100	4.956	2.824
5	I-2-5	5.100	4.940	3.137
6	I-2-6	5.111	4.948	3.189
7	II-2-7	5.104	4.970	2.625
8	II-2-8	5.104	4.937	3.272
9	II-2-9	5.103	4.958	2.841
10	II-2-10	5.127	4.946	3.530
11	II-2-11	5.081	4.876	4.035
12	III-2-12	5.072	4.873	3.924
13	III-2-13	5.081	4.911	3.346
14	III-2-14	5.100	5.000	1.961
15	III-2-15	5.080	4.892	3.701
M(X)		5.098	4.943	3.039
S(D)		0.014	0.038	0.595
CV%		0.279	0.765	19.597

Cuadro 34: Trat. Est.: CONTRACCIÓN RADIAL TOTAL
Fuente: Elaboración propia

Nº	CODIGO PROBETA	Dimensión Longitudinal en Estado Verde $CH \geq 30\%$	Dimensión Longitudinal en Estado Seco al Aire $CH \leq 12\%$	Contracción Longitudinal Normal $C_{ln} = \frac{dvl - dsl}{dvl} \times 100(\%)$
1	I-2-1	10.022	10.010	0.120
2	I-2-2	10.002	9.992	0.100
3	I-2-3	10.165	10.156	0.089
4	I-2-4	10.256	10.247	0.088
5	I-2-5	10.062	10.054	0.080
6	I-2-6	10.146	10.135	0.108
7	II-2-7	10.100	10.090	0.099
8	II-2-8	10.238	10.224	0.137
9	II-2-9	10.137	10.128	0.089
10	II-2-10	10.088	10.063	0.248
11	II-2-11	10.124	10.118	0.059
12	III-2-12	10.159	10.144	0.148
13	III-2-13	10.168	10.148	0.197
14	III-2-14	10.097	10.080	0.168
15	III-2-15	10.113	10.070	0.425
M(X)		10.125	10.111	0.144
S(D)		0.067	0.068	0.089
CV%		0.664	0.674	62.231

Cuadro 35: Trat. Est.: CONTRACCIÓN LONGITUDINAL NORMAL
Fuente: Elaboración propia

Nº	CODIGO PROBETA	Dimensión Longitudinal en Estado Verde $CH \geq 30\%$	Dimensión Longitudinal en Estado Seco al Aire $CH \approx 0\%$	Contracción Longitudinal Total $C_{ln} = \frac{dvl - dsl}{dvl} \times 100(\%)$
1	I-2-1	10.022	9.993	0.289
2	I-2-2	10.002	9.976	0.260
3	I-2-3	10.165	10.141	0.236
4	I-2-4	10.256	10.227	0.283
5	I-2-5	10.062	10.033	0.288
6	I-2-6	10.146	10.117	0.286
7	II-2-7	10.100	10.074	0.257
8	II-2-8	10.238	10.214	0.234
9	II-2-9	10.137	10.108	0.286
10	II-2-10	10.088	10.062	0.258
11	II-2-11	10.124	10.103	0.207
12	III-2-12	10.159	10.117	0.413
13	III-2-13	10.168	10.135	0.325
14	III-2-14	10.097	10.063	0.337
15	III-2-15	10.113	10.048	0.643
M(X)		10.125	10.094	0.307
S(D)		0.067	0.068	0.102
CV%		0.664	0.675	33.094

Cuadro 36: Trat. Est.: CONTRACCIÓN LONGITUDINAL TOTAL
Fuente: Elaboración propia

Nº	CODIGO PROBETA	Contracción Tangencial Normal. (Ctn)	Contracción Radial Normal. (Crn)	Contracción Longitudinal Normal (Cln)	Contracción Volumétrica Normal (Cvn) $Cvn = (Ctn + Crn + Cln)\%$
1	I-2-1	4.729	1.196	0.120	6.045
2	I-2-2	4.384	0.978	0.100	5.462
3	I-2-3	4.181	1.199	0.089	5.469
4	I-2-4	4.524	1.608	0.088	6.220
5	I-2-5	4.558	1.941	0.080	6.579
6	I-2-6	3.762	1.800	0.108	5.670
7	II-2-7	*****	1.430	0.099	*****
8	II-2-8	*****	2.116	0.137	*****
9	II-2-9	*****	1.568	0.089	*****
10	II-2-10	*****	2.106	0.248	*****
11	II-2-11	*****	2.185	0.059	*****
12	III-2-12	*****	2.070	0.148	*****
13	III-2-13	*****	1.948	0.197	*****
14	III-2-14	*****	1.745	0.168	*****
15	III-2-15	*****	2.224	0.425	*****
M(X)		4.356	1.741	0.144	5.908
S(D)		0.314	0.385	0.089	0.411
CV%		7.212	22.087	62.231	6.961

Cuadro 37: Trat. Est.: CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA NORMAL
Fuente: Elaboración propia

Nº	CODIGO PROBETA	Contracción Tangencial Total (Ctt)	Contracción Radial Total (Crt)	Contracción Longitudinal Total (Clt)	Contracción Volumétrica Total (Cvt) $Cvt = (Ctt + Crt + Clt)\%$
1	I-2-1	7.133	2.352	0.289	9.774
2	I-2-2	6.988	2.542	0.260	9.790
3	I-2-3	6.614	2.299	0.236	9.149
4	I-2-4	7.140	2.824	0.283	10.247
5	I-2-5	7.289	3.137	0.288	10.714
6	I-2-6	5.957	3.189	0.286	9.432
7	II-2-7	*****	2.625	0.257	*****
8	II-2-8	*****	3.272	0.234	*****
9	II-2-9	*****	2.841	0.286	*****
10	II-2-10	*****	3.530	0.258	*****
11	II-2-11	*****	4.035	0.207	*****
12	III-2-12	*****	3.924	0.413	*****
13	III-2-13	*****	3.346	0.325	*****
14	III-2-14	*****	1.961	0.337	*****
15	III-2-15	*****	3.701	0.643	*****
M(X)		6.854	3.039	0.307	9.851
S(D)		0.452	0.595	0.102	0.513
CV%		6.601	19.597	33.094	5.209

Cuadro 38: Trat. Est.: CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA TOTAL
Fuente: Elaboración propia

III.2.1.2 CONSTRUCCIÓN DE CURVAS: Con los resultados obtenidos, es posible construir curvas que relacionen los diferentes tipos de contracción tanto para el estado preservado como para el estado no preservado, para lo cual se ha tenido las siguientes consideraciones:

- Según la bibliografía estudiada, los cambios dimensionales se producen cuando varía el contenido de humedad por debajo del punto de saturación de la fibra (PSF).
- Según el PADT-REFORT el PSF varía de 25 a 35 por ciento, nosotros hemos considerado el valor promedio del 30% para el PSF.
- Para Cajamarca, la contracción normal se da cuando los cambios dimensionales sufridos por la madera se producen por la variación del contenido de humedad del 30% (PSF) al 12% (Estado seco al aire) y la contracción total cuando los cambios dimensionales sufridos por la madera se producen por la variación del contenido de humedad del 30% (PSF) al 0% (Estado anhidro).
- Con los resultados obtenidos y las consideraciones anteriores se confeccionó la siguiente tabla, la cual servirá de base para la construcción de las diferentes graficas de relación correspondientes a contracción:

Variación C.H (%)	Contracción Tangencial	Contracción Radial	Contracción Longitudinal	Contracción Volumétrica
Más del 30%	0	0	0	0
30% a 12%	3.983	1.741	0.144	5.908
30% a 0%	6.854	3.039	0.307	9.851

Cuadro 39: Tabla Contracción – C.H.
Fuente: Elaboración propia

Una vez ubicados los puntos establecidos por la tabla anterior en un sistema cartesiano “Contenido de Humedad - % de Contracción” y luego de ajustar las curvas utilizando la regresión polinomial cuadrática, se obtuvieron las siguientes gráficas que servirán de una valiosa ayuda para el análisis de resultados y para posteriores estudios o aplicaciones.

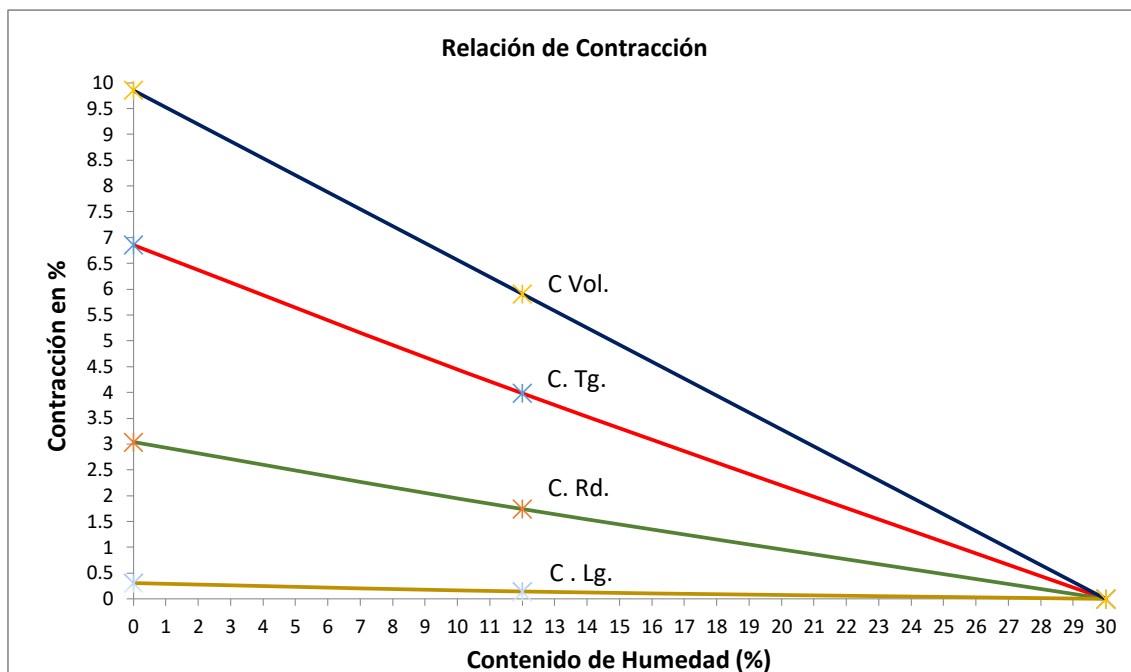


Figura 58: Curvas, Contracción – C.H.
Fuente: Elaboración propia

III.2.1.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS: CONTRACCIÓN. Tanto en el Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino como en el manual de la Construcción de Viviendas en Maderas por la Corporación Chilena de la Madera. CORMA establecen que la contracción tangencial es mayor a la contracción radial y ésta es mayor a la contracción longitudinal; estas aseveraciones son congruentes a los resultados finales obtenidos, para madera preservada como para la no preservada de nuestra investigación.

El mismo manual en su sección 1.3.2, indica que según Kollmann la relación CT/CR (Contracción Tangencial / Contracción Radial) varía de **1.65 a 2.30**. Los valores de esta relación encontrados para la madera tipo Pinus Radiata del Bosque Piedra Grande de Cajamarca son los siguientes:

CONTRACCION		VALOR EN %
Contracción Normal.	Tangencial	3.983
	Radial	1.741
Contracción Total.	Tangencial	6.854
	Radial	3.039

Cuadro 40: VALORES DE LA CONTRACCION
Fuente: Elaboración propia

- En la misma figura se diferencia que:

TIPO DE CONTRACCIÓN.	Valor Promedio en % de la Contracción
Contracción Tangencial Normal.	3.983
Contracción Radial Normal.	1.741
Contracción Longitudinal Normal.	0.144
Contracción Volumétrica Normal.	5.908
Contracción Tangencial Total.	6.854
Contracción Radial Total.	3.039
Contracción Longitudinal Total.	0.307
Contracción Volumétrica Total.	9.851

Cuadro 41: Resultados finales CONTRACCIÓN
Fuente: Elaboración propia

III.2.2 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS: DENSIDAD.

III.2.2.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO: DENSIDAD.

Nº	CODIGO PROBETA	DENSIDAD SATURADA		DENSIDAD VERDE		DENSIDAD SECA AL AIRE		DENSIDAD ANHIDRA	DENSIDAD BASICA (gr/Cm³)
		Contenido de Humedad (C.H. %)	Densidad Saturada (gr/Cm³)	Contenido de Humedad (C.H. %)	Densidad Verde (gr/Cm³)	Contenido de Humedad (C.H. %)	Densidad Seca/Aire (gr/Cm³)	Densidad Anhidra (gr/Cm³)	
1	I-1-1	118.483	0.766	58.547	0.558	11.645	0.416	0.388	0.352
2	I-1-2	120.469	0.770	56.503	0.548	11.514	0.410	0.407	0.350
3	I-1-3	117.001	0.765	58.501	0.561	11.721	0.416	0.385	0.354
4	I-1-4	114.557	0.766	54.852	0.555	11.603	0.422	0.392	0.358
5	I-1-5	108.247	0.751	58.247	0.573	11.546	0.425	0.393	0.362
6	II-1-6	128.348	0.985	74.261	0.753	11.652	0.504	0.446	0.432
7	II-1-7	137.007	0.998	75.448	0.740	12.545	0.491	0.446	0.422
8	II-1-8	130.141	0.982	66.872	0.713	11.336	0.497	0.457	0.427
9	II-1-9	147.241	1.081	67.241	0.732	11.293	0.510	0.473	0.437
10	II-1-10	128.517	0.898	99.426	0.785	11.675	0.461	0.424	0.394
11	III-1-11	147.574	0.958	121.789	0.861	11.989	0.447	0.412	0.388
12	III-1-12	148.378	0.968	125.763	0.882	11.737	0.457	0.422	0.391
13	III-1-13	144.612	0.953	119.943	0.858	11.626	0.458	0.421	0.390
14	III-1-14	140.207	0.941	114.501	0.842	11.488	0.458	0.422	0.392
15	III-1-15	110.540	0.930	80.017	0.798	11.973	0.521	0.478	0.443
M(X)		129.421	0.901	82.127	0.717	11.690	0.460	0.424	0.393
S(D)		13.646	0.104	25.697	0.122	0.294	0.036	0.029	0.032
CV%		10.544	11.570	31.289	16.956	2.513	7.889	6.836	8.112

Cuadro 42

Fuente: Elaboración propia

Procesamiento Estadístico, DENSIDAD

III.2.2.2 CONSTRUCCIÓN DE CURVAS: DENSIDAD. Es posible construir curvas en el plano cartesiano, Densidad – Contenido de humedad, que relacionen los comportamientos tanto para probetas No preservadas como para las probetas Preservadas, para lo cual se ha tenido que construir la siguiente tabulación.

TIPO DENSIDAD	VALOR (gr/Cm ³)	C.H.
Dens. Saturada.	0.901	129.421
Dens. Verde.	0.717	82.127
Dens. Seca Aire.	0.460	11.690
Densidad Anhidra.	0.424	0.000

Cuadro 43: Tabla para construir curvas Densidad – Contenido de Humedad.
Fuente: Elaboración propia

Ubicando los puntos correlativos de la tabla ilustrada en el cuadro anterior en el sistema cartesiano “Densidad – Contenido de humedad” y luego de ajustar la curva mediante regresión polinomial cuadrática, obtenemos las siguientes curvas:

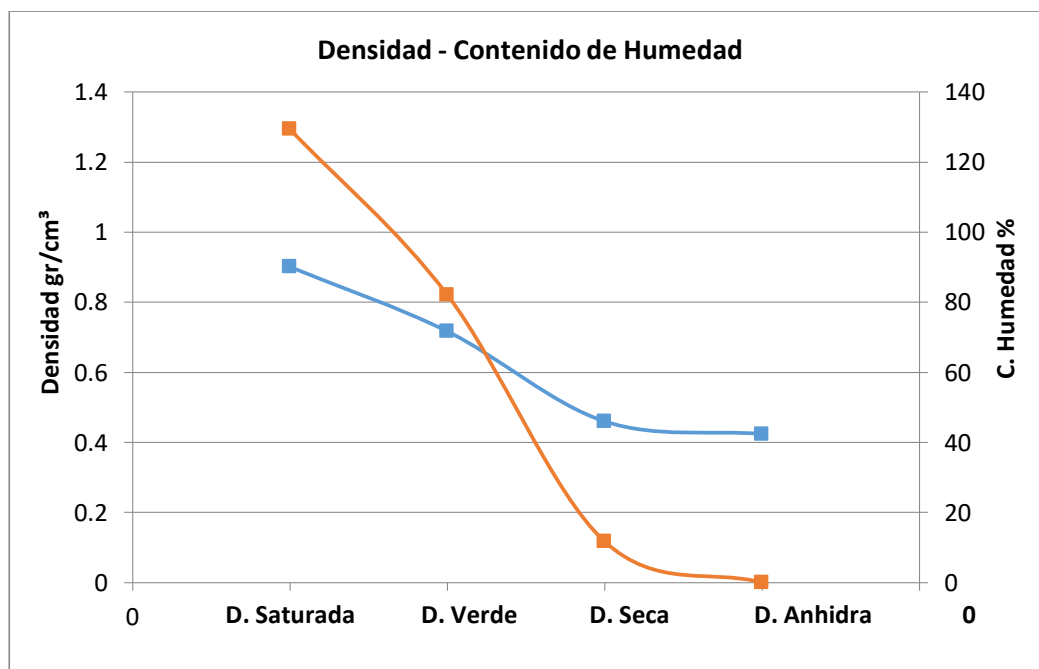


Figura 59: Densidad - C.H.
Fuente: Elaboración propia

III.2.2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS: DENSIDAD. El resultado promedio de la Densidad Básica encontrada en nuestra investigación para las probetas No preservadas es de 0.393 gr./Cm³ el cual es congruente con lo establecido en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, que en su tabla 1.1 determina una Densidad Básica de 0.39 gr./Cm³, con lo cuál se admite que pertenece al grupo estructural “C”.

TIPO DE DENSIDAD	VALOR Grs/cm ³
Densidad Saturada.	0.901
Densidad Verde.	0.717
Densidad Seca Aire.	0.460
Densidad Anhidra.	0.424
Densidad Básica.	0.393

Cuadro 44: Valores de la Densidad
Fuente: Elaboración propia

III.2.3 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA ENSAYOS DE CARÁCTER MECÁNICO.

El procesamiento de resultados relativos a las propiedades mecánicas, difiere del procesamiento de resultados de las propiedades físicas en lo siguiente:

- i. Para el caso de las propiedades mecánicas se cuenta con tabulaciones y curvas de comportamiento Esfuerzo – Deformación Unitaria; las cuales han sido elaboradas en el ítem III.5.4.2.
- ii. Las tabulaciones, modelamientos y curvas elaboradas en el ítem III.5.4.2 nos sirvieron para determinar y construir “modelamientos matemáticos de comportamiento promedio elástico y plástico dentro del sistema cartesiano Esfuerzo – Deformación Unitaria”.
- iii. Los resultados que se obtengan de las “curvas de comportamiento promedio” serán contrastados con los resultados que se obtengan del procesamiento estadístico.

Se elaboraron “curvas de comportamiento promedio” para los ensayos de: compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, tracción paralela a la fibra y flexión estática; y su construcción tuvo la secuencia que se describe a continuación:

- 1º) Para cada uno de los ensayos especificados en el párrafo anterior, valiéndonos de los modelamientos matemáticos, los puntos de proporcionalidad elástica, de rotura y las tabulaciones elaboradas en el ítem III.5; se construyó una “**tabla general**” donde se consignaron los puntos relativos a las tabulaciones por ensayo elaboradas en el ítem III.5.4.2, de acuerdo al siguiente procedimiento:

- BASES PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA ENSAYOS DE CARÁCTER MECÁNICO.

El Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, en su Sección III “Diseño Estructural” establece que el diseño de los elementos de madera debe hacerse para cargas de servicio o **METODO DE ESFUERZOS ADMISIBLES**, donde se debe de cumplir con los siguientes requisitos:

a. Requisitos de Resistencia.

$\text{ESFUERZOS APLICADOS} < \text{ESFUERZOS ADMISIBLES}$
--

b. Requisitos de Rigidez.

$\text{DEFORMACIONES} < \text{DEFORMACIONES ADMISIBLES}$
--

En virtud de lo anterior el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino ha elaborado varias tablas aplicables exclusivamente a madera estructural que cumpla en su totalidad con la norma de clasificación visual, en las cuales se establecen los valores de los esfuerzos admisibles para maderas de cada grupo estructural.

El mismo manual en su sección 1.5.1 (Módulo de Elasticidad MOE), establece que se tomará el valor del módulo de elasticidad relativo a Flexión Estática como el genérico de la especie, por ser las deflexiones en elementos a flexión

el criterio básico en su dimensionamiento. Así mismo el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino al igual que para el caso de esfuerzos admisibles, también ha elaborado varias tablas en las cuáles se establecen los valores promedio y mínimo del módulo de elasticidad para maderas de cada grupo estructural; aplicable a elementos en flexión, tracción o compresión en la dirección paralela a las fibras.

Por las razones expuestas anteriormente, en nuestra investigación, para las propiedades mecánicas se incidirá en el análisis de los valores mínimos y promedios relativo al Esfuerzo Admisible y al Módulo de elasticidad MOE (módulo de Young E).

III.2.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS: COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA.

COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA.

Nº	CODIGO PROBETA	CONTENDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD BASICA (gr./Cm³)	PUNTO EN EL LIMITE PROPORCIONAL		PUNTO DE APLASTAMIENTO		MODULO DE ELASTICIDAD (Kg./Cm²) $MOE = \frac{\sigma_{LP}}{Def Unit}$	ESFUERZO ADMISIBLE (Kg./Cm²) F.C.=1; F.T.=1; F.S.=1.60 F.D.C.=1.25 $\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_R$
				Def. Unit.	Esfuerzo (Kg./Cm²)	Def. Unit.	Esfuerzo (Kg./Cm²)		
				"X"	"Y"	"X"	"Y"		
1	I-4-1	77.397	0.376	0.0108	134.979	0.0177	147.896	12452	74
2	I-4-2	92.040	0.378	0.0114	145.712	0.0134	151.172	12804	76
3	I-4-3	58.871	0.382	0.0104	136.173	0.0124	142.596	13119	71
4	II-4-4	64.458	0.419	0.0100	165.235	0.0121	176.782	16491	88
5	I-4-5	81.285	0.371	0.0091	117.359	0.0172	126.615	12911	63
6	III-4-6	58.359	0.438	0.0123	153.537	0.0149	164.963	12483	82
7	I-4-7	75.994	0.373	0.0103	128.811	0.0159	145.259	12530	73
8	II-4-8	84.869	0.360	0.0098	124.595	0.0122	137.123	12740	69
9	II-4-9	89.003	0.362	0.0106	112.815	0.0140	128.242	10603	64
10	II-4-10	92.444	0.380	0.0106	152.648	0.0121	159.606	14455	80
11	II-4-11	82.562	0.381	0.0100	161.525	0.0118	169.281	16153	85
12	III-4-12	74.069	0.445	0.0097	195.617	0.0109	200.556	20146	100
13	III-4-13	86.636	0.450	0.0079	201.074	0.0086	203.792	25517	102
14	III-4-14	73.536	0.434	0.0095	197.639	0.0112	205.817	20826	103
15	III-4-15	87.220	0.421	0.0102	178.903	0.0122	185.790	17539	93

M(X)	78.583	0.398	0.0102	153.775	0.0131	163.033	15384.540	81.516
S(D)	10.755	0.031	0.001	28.217	0.002	25.784	3959.839	12.892
CV%	13.686	7.846	9.556	18.349	18.072	15.815	25.739	15.815
Límite de Exclusión del 5% → 0.05 N.			0.0079	113	0.0086	127	10603	63

Cuadro 45: Procesamiento Estadístico, COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA, probetas No preservadas.
Fuente: Elaboración propia

Nº	CODIGO PROBETA	CONTENDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD BASICA (gr./Cm³)	PUNTO EN EL LIMITE PROPORCIONAL		PUNTO DE APLASTAMIENTO		MODULO DE ELASTICIDAD (Kg./Cm²) $MOE = \frac{\sigma_{LP}}{Def Unit}$	ESFUERZO ADMISIBLE (Kg./Cm²) F.C.=1; F.T.=1; F.S.=1.60 F.D.C.=1.25 $\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_R$
				Def. Unit.	Esfuerzo (Kg./Cm²)	Def. Unit.	Esfuerzo (Kg./Cm²)		
				"X"	"Y"	"X"	"Y"		
1	I-4-1	101.304	0.413	0.0095	202.017	0.0110	210.706	21332	105
2	I-4-2	126.087	0.404	0.0079	174.489	0.0092	181.620	21976	91
3	I-4-3	140.437	0.386	0.0113	186.434	0.0130	193.835	16499	97
4	II-4-4	79.873	0.424	0.0120	222.927	0.0132	226.826	18639	113
5	I-4-5	106.805	0.410	0.0106	220.071	0.0113	222.430	20683	111
6	III-4-6	79.326	0.499	0.0098	232.248	0.0143	249.538	23675	125
7	I-4-7	107.561	0.426	0.0105	188.650	0.0117	194.873	17915	97
8	II-4-8	52.438	0.400	0.0170	190.780	0.0186	195.545	11242	98
9	II-4-9	101.323	0.419	0.0104	214.448	0.0108	215.584	20541	108
10	II-4-10	134.862	0.417	0.0105	185.286	0.0121	192.640	17714	96
11	II-4-11	106.593	0.437	0.0098	217.248	0.0101	218.094	22259	109
12	III-4-12	108.280	0.454	0.0106	205.570	0.0123	213.305	19393	107
13	III-4-13	101.627	0.424	0.0101	197.685	0.0132	212.666	19515	106
14	III-4-14	111.665	0.421	0.0098	203.281	0.0120	214.449	20701	107
15	III-4-15	83.988	0.496	0.0096	198.349	0.0121	208.970	20726	104
M(X)		102.811	0.429	0.0106	202.632	0.0123	210.072	19520.723	105.036
S(D)		21.789	0.031	0.002	15.684	0.002	16.213	2870.591	8.106
CV%		21.193	7.222	17.942	7.740	16.865	7.718	14.705	7.718
Límite de Exclusión del 5% → 0.05 N.				0.0079	174	0.0092	182	11242	91

Cuadro 46 Fuente: Elaboración propia

CONSTRUCCIÓN DE CURVAS: COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA:

CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE COMPORTAMIENTO PROMEDIO, ESFUERZO VS. DEFORMACIÓN UNITARIA PARA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

Nº Pto.	CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.	
	I-4-1		I-4-2		I-4-3		II-4-4		I-4-5		III-4-6		I-4-7		II-4-8	
	TABULACIO N		TABULACIO N		TABULACIO N		TABULACIO N		TABULACIO N		TABULACIO N		TABULACIO N		TABULACIO N	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	0.000 0	0.0000	0.000 0	0.0000	0.000 0	0.0000	0.000 0	0.0000	0.000 0	0.0000	0.000 0	0.0000	0.000 0	0.0000	0.000 0	0.0000
2	0.001 1	13.4968	0.001 1	14.5729	0.001 0	13.6185	0.001 0	16.5231	0.000 9	11.7402	0.001 2	15.3527	0.001 0	12.8791	0.001 0	12.4588
3	0.002 2	26.9936	0.002 3	29.1458	0.002 1	27.2370	0.002 0	33.0463	0.001 8	23.4803	0.002 5	30.7054	0.002 1	25.7581	0.002 0	24.9176
4	0.003 3	40.4904	0.003 4	43.7187	0.003 1	40.8554	0.003 0	49.5694	0.002 7	35.2205	0.003 7	46.0581	0.003 1	38.6372	0.002 9	37.3764
5	0.004 3	53.9871	0.004 6	58.2916	0.004 2	54.4739	0.004 0	66.0926	0.003 6	46.9606	0.004 9	61.4108	0.004 1	51.5162	0.003 9	49.8352
6	0.005 4	67.4839	0.005 7	72.8645	0.005 2	68.0924	0.005 0	82.6157	0.004 5	58.7008	0.006 2	76.7635	0.005 1	64.3953	0.004 9	62.2941
7	0.006 5	80.9807	0.006 8	87.4374	0.006 2	81.7109	0.006 0	99.1388	0.005 5	70.4410	0.007 4	92.1162	0.006 2	77.2743	0.005 9	74.7529
8	0.007 6	94.4775	0.008 0	102.010 3	0.007 3	95.3293	0.007 0	115.662 0	0.006 4	82.1811	0.008 6	107.468 9	0.007 2	90.1534	0.006 8	87.2117
9	0.008 7	107.974 3	0.009 1	116.583 2	0.008 3	108.947 8	0.008 0	132.185 1	0.007 3	93.9213	0.009 8	122.821 6	0.008 4	103.032 4	0.007 8	99.6705
10	0.009 8	121.471 1	0.010 2	131.156 1	0.009 3	122.566 3	0.009 0	148.708 2	0.008 2	105.661 4	0.011 1	138.174 2	0.009 3	115.911 5	0.008 3	112.129 3
11	0.010 8	134.979 0	0.011 4	145.712 1	0.010 4	136.172 8	0.010 0	165.235 3	0.009 1	117.358 6	0.012 3	153.536 7	0.010 3	128.811 5	0.009 8	124.595 1
12	0.011 2	136.238 9	0.011 5	146.244 2	0.010 5	136.800 1	0.010 1	166.362 7	0.009 5	118.261 7	0.012 4	154.652 5	0.010 6	130.413 7	0.009 9	125.816 1
13	0.011 5	137.434 1	0.011 6	146.749 0	0.010 6	137.395 1	0.010 2	167.432 1	0.009 9	119.118 3	0.012 6	155.711 0	0.010 8	131.933 9	0.010 0	126.974 5
14	0.011 9	138.564 7	0.011 7	147.226 6	0.010 7	137.957 9	0.010 3	168.443 7	0.010 3	119.928 7	0.012 7	156.712 2	0.011 1	133.371 9	0.010 1	128.070 3
15	0.012 2	139.630 7	0.011 8	147.676 9	0.010 8	138.488 5	0.010 4	169.397 4	0.010 7	120.692 7	0.012 8	157.656 0	0.011 4	134.727 8	0.010 3	129.103 6
16	0.012 6	140.632 1	0.011 9	148.099 9	0.010 9	138.986 9	0.010 5	170.293 2	0.011 3	121.410 3	0.012 9	158.542 6	0.011 7	136.001 7	0.010 4	130.074 2
17	0.012 9	141.568 8	0.012 0	148.495 6	0.011 0	139.453 0	0.010 6	171.131 1	0.011 5	122.081 7	0.013 1	159.371 8	0.012 0	137.193 5	0.010 5	130.982 3
18	0.013 2	142.440 8	0.012 1	148.864 1	0.011 1	139.886 9	0.010 7	171.911 1	0.011 9	122.706 7	0.013 2	160.143 8	0.012 3	138.303 1	0.010 6	131.827 7
19	0.013 6	143.248 3	0.012 2	149.205 2	0.011 2	140.288 6	0.010 8	172.633 2	0.012 3	123.285 4	0.013 3	160.858 4	0.012 5	139.330 7	0.010 7	132.610 6
20	0.013 9	143.991 0	0.012 3	149.519 1	0.011 3	140.658 1	0.010 9	173.297 4	0.012 7	123.817 7	0.013 5	161.515 7	0.012 8	140.276 2	0.010 8	133.330 9
21	0.014 3	144.669 2	0.012 4	149.805 8	0.011 4	140.995 4	0.011 0	173.903 7	0.013 1	124.303 7	0.013 6	162.115 7	0.013 1	141.139 6	0.011 0	133.988 6
22	0.014 6	145.282 7	0.012 5	150.065 1	0.011 5	141.300 4	0.011 1	174.452 1	0.013 5	124.743 4	0.013 7	162.658 4	0.013 4	141.920 9	0.011 1	134.583 7
23	0.015 0	145.831 6	0.012 6	150.297 2	0.011 6	141.573 2	0.011 3	174.942 6	0.013 9	125.136 7	0.013 8	163.143 8	0.013 7	142.620 1	0.011 2	135.116 3
24	0.015 3	146.315 8	0.012 7	150.502 0	0.011 7	141.813 8	0.011 4	175.375 2	0.014 3	125.483 7	0.014 0	163.571 8	0.013 9	143.237 2	0.011 3	135.586 2
25	0.015 6	146.735 4	0.012 8	150.679 5	0.011 8	142.022 2	0.011 5	175.749 9	0.014 7	125.784 4	0.014 1	163.942 6	0.014 2	143.772 3	0.011 4	135.993 6
26	0.016 0	147.090 3	0.012 9	150.829 8	0.011 9	142.198 3	0.011 6	176.066 7	0.015 2	126.038 2	0.014 2	164.256 0	0.014 5	144.225 2	0.011 6	136.338 4
27	0.016 3	147.380 6	0.013 0	150.952 7	0.012 0	142.342 3	0.011 7	176.325 6	0.015 6	126.246 7	0.014 4	164.512 1	0.014 8	144.596 1	0.011 7	136.620 6
28	0.016 7	147.606 3	0.013 1	151.048 1	0.012 1	142.454 0	0.011 8	176.526 6	0.016 0	126.408 5	0.014 5	164.710 9	0.015 1	144.884 8	0.011 8	136.840 2
29	0.017 0	147.767 3	0.013 2	151.116 8	0.012 2	142.533 5	0.011 9	176.669 7	0.016 4	126.523 7	0.014 6	164.852 4	0.015 3	145.091 5	0.011 9	136.997 2
30	0.017 4	147.863 5	0.013 3	151.158 0	0.012 3	142.580 7	0.012 0	176.754 9	0.016 8	126.592 7	0.014 7	164.936 6	0.015 6	145.216 0	0.012 0	137.091 6
31	0.017 7	147.895 5	0.013 4	151.171 9	0.012 4	142.595 8	0.012 1	176.782 2	0.017 2	126.615 4	0.014 9	164.963 4	0.015 9	145.258 5	0.012 2	137.123 5

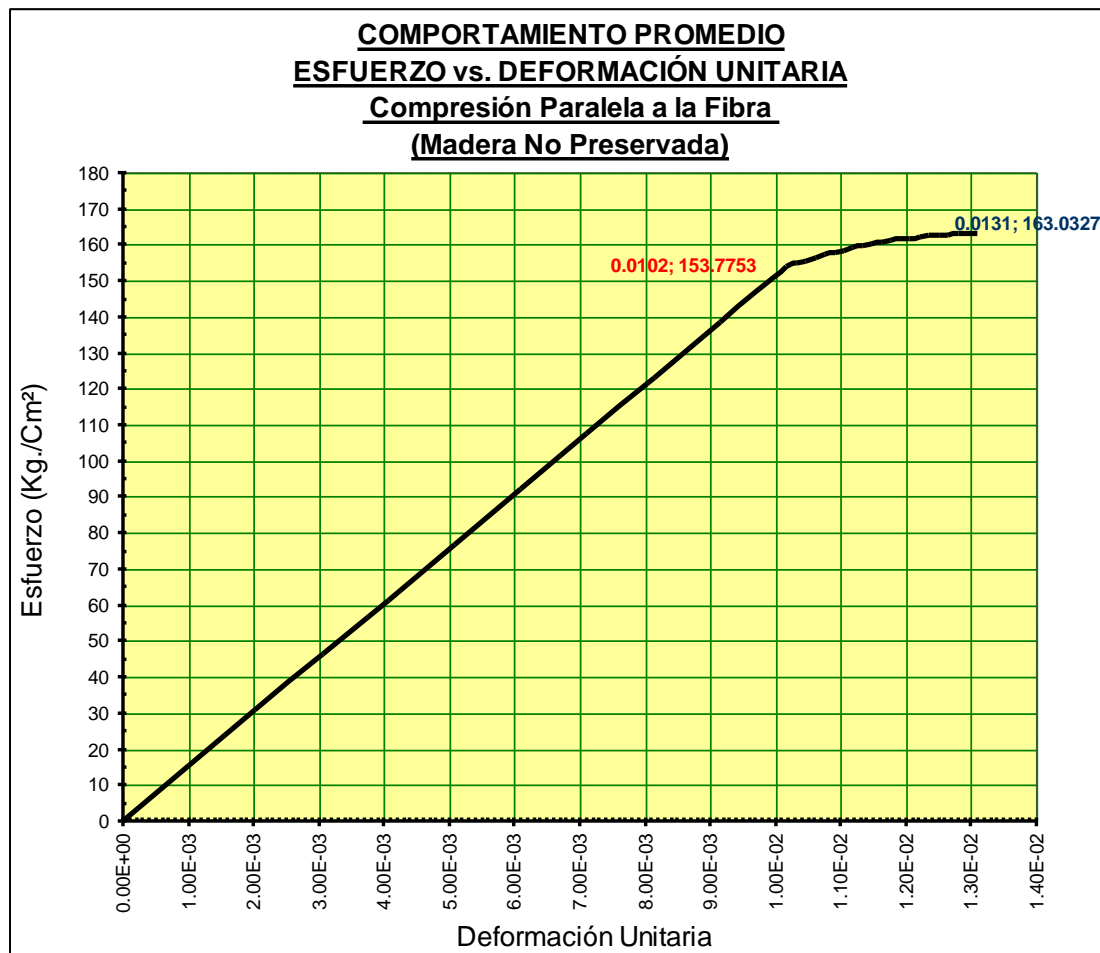
Cuadro 47

Fuente: Elaboración propia

Nº Pto	CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		PROMEDIO TABULACIÓN PTO. A PTO.	
	II-4-9		II-4-10		II-4-11		III-4-12		III-4-13		III-4-14		III-4-15			
	TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN			
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	M(x)	M(Y)
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0011	11.2815	0.0011	15.2659	0.0010	16.1498	0.0010	19.5578	0.0008	20.1026	0.0009	19.7626	0.0010	17.8878	0.0010	15.3767
3	0.0021	22.5630	0.0021	30.5317	0.0020	32.2996	0.0019	39.1156	0.0016	40.2051	0.0019	39.5252	0.0020	35.7755	0.0020	30.7533
4	0.0032	33.8445	0.0032	45.7976	0.0030	48.4495	0.0029	58.6734	0.0024	60.3077	0.0028	59.2878	0.0031	53.6633	0.0031	46.1300
5	0.0043	45.1260	0.0042	61.0634	0.0040	64.5993	0.0039	78.2312	0.0032	80.4103	0.0038	79.0503	0.0041	71.5510	0.0041	61.5066
6	0.0053	56.4075	0.0053	76.3293	0.0050	80.7491	0.0049	97.7889	0.0039	100.5128	0.0047	98.8129	0.0051	89.4388	0.0051	76.8833
7	0.0064	67.6890	0.0063	91.5952	0.0060	96.8989	0.0058	117.3467	0.0047	120.6154	0.0057	118.5755	0.0061	107.3265	0.0061	92.2600
8	0.0074	78.9705	0.0074	106.8610	0.0070	113.0487	0.0068	136.9045	0.0055	140.7180	0.0066	138.3381	0.0071	125.2143	0.0071	107.6366
9	0.0085	90.2520	0.0084	122.1269	0.0080	129.1986	0.0078	156.4623	0.0063	160.8205	0.0076	158.1007	0.0082	143.1020	0.0081	123.0133
10	0.0096	101.5335	0.0095	137.3927	0.0090	145.3484	0.0087	176.0201	0.0071	180.9231	0.0085	177.8633	0.0092	160.9898	0.0092	138.3899
11	0.0106	112.8146	0.0106	152.6482	0.0100	161.5255	0.0097	195.6168	0.0079	201.0736	0.0095	197.6391	0.0102	178.9029	0.0102	153.7748
12	0.0108	114.3210	0.0106	153.3258	0.0101	162.2817	0.0098	196.0991	0.0079	201.3403	0.0096	198.4376	0.0103	179.5741	0.0103	154.6780
13	0.0110	115.7500	0.0107	153.9688	0.0102	162.9992	0.0098	196.5567	0.0080	201.5932	0.0097	199.1950	0.0104	180.2109	0.0105	155.5348
14	0.0111	117.1016	0.0108	154.5770	0.0103	163.6779	0.0099	196.9895	0.0080	201.8324	0.0097	199.9114	0.0105	180.8133	0.0106	156.3453
15	0.0113	118.3758	0.0109	155.1506	0.0104	164.3178	0.0099	197.3976	0.0080	202.0578	0.0098	200.5869	0.0106	181.3813	0.0108	157.1094
16	0.0115	119.5727	0.0109	155.6894	0.0104	164.9189	0.0100	197.7808	0.0081	202.2694	0.0099	201.2213	0.0107	181.9149	0.0109	157.8272
17	0.0116	120.6923	0.0110	156.1935	0.0105	165.4812	0.0101	198.1393	0.0081	202.4673	0.0100	201.8147	0.0108	182.4141	0.0110	158.4987
18	0.0118	121.7344	0.0111	156.6629	0.0106	166.0047	0.0101	198.4730	0.0081	202.6514	0.0101	202.3671	0.0109	182.8789	0.0112	159.1238
19	0.0120	122.6992	0.0112	157.0976	0.0107	166.4895	0.0102	198.7819	0.0082	202.8217	0.0102	202.8785	0.0110	183.3092	0.0113	159.7025
20	0.0121	123.5866	0.0112	157.4976	0.0108	166.9354	0.0102	199.0660	0.0082	202.9783	0.0103	203.3489	0.0111	183.7052	0.0115	160.2349
21	0.0123	124.3967	0.0113	157.8628	0.0109	167.3426	0.0103	199.3253	0.0083	203.1211	0.0104	203.7783	0.0112	184.0668	0.0116	160.7210
22	0.0125	125.1294	0.0114	158.1933	0.0110	167.7110	0.0104	199.5599	0.0083	203.2501	0.0104	204.1666	0.0113	184.3939	0.0118	161.1607
23	0.0126	125.7847	0.0115	158.4892	0.0111	168.0406	0.0104	199.7696	0.0083	203.3654	0.0105	204.5140	0.0114	184.6867	0.0119	161.5541
24	0.0128	126.3627	0.0116	158.7503	0.0112	168.3314	0.0105	199.9546	0.0084	203.4669	0.0106	204.8203	0.0115	184.9450	0.0121	161.9011
25	0.0130	126.8633	0.0116	158.9767	0.0112	168.5834	0.0105	200.1148	0.0084	203.5546	0.0107	205.0857	0.0116	185.1690	0.0122	162.2018
26	0.0131	127.2865	0.0117	159.1684	0.0113	168.7966	0.0106	200.2502	0.0085	203.6286	0.0108	205.3100	0.0117	185.3585	0.0124	162.4561
27	0.0133	127.6324	0.0118	159.3253	0.0114	168.9711	0.0107	200.3609	0.0085	203.6888	0.0109	205.4934	0.0118	185.5136	0.0125	162.6641
28	0.0135	127.9009	0.0119	159.4476	0.0115	169.1067	0.0107	200.4467	0.0085	203.7353	0.0110	205.6357	0.0119	185.6344	0.0127	162.8258
29	0.0136	128.0921	0.0119	159.5351	0.0116	169.2036	0.0108	200.5078	0.0086	203.7679	0.0110	205.7370	0.0120	185.7207	0.0128	162.9411
30	0.0138	128.2058	0.0120	159.5879	0.0117	169.2617	0.0108	200.5441	0.0086	203.7869	0.0111	205.7973	0.0121	185.7726	0.0129	163.0100
31	0.0140	128.2422	0.0121	159.6061	0.0118	169.2810	0.0109	200.5556	0.0086	203.7920	0.0112	205.8166	0.0122	185.7901	0.0131	163.0326

Cuadro 48

**, Punto de Fluencia, Punto de Rotura y Tabulación Promedio Final:
COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA (Probetas No Preservadas).
Fuente: Elaboración propia**



Cuadro 49

Fuente: Elaboración propia

III.2.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS: COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA.

El Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino en su sección 1.4.1 (Resistencia a la Compresión Paralela) indica que los valores del esfuerzo de rotura en compresión paralela a las fibras para ensayos de laboratorio varían entre 100 y 900 Kg/Cm² para maderas tropicales y que esta variación es función de la densidad (entre 0.2 y 0.8 de D.B.); además indican que el límite proporcional es aproximadamente el 75 por ciento del esfuerzo máximo y la deformación es del orden del 60 por ciento de la máxima.

El esfuerzo de rotura en compresión paralela a la fibra obtenido por nuestra investigación para probetas No preservadas y Preservadas es en promedio de 163 y 210 Kg/Cm² para una densidad básica promedio de 0.398 y 0.429 respectivamente, lo cual es coherente con lo establecido por el Manual de Diseño del Grupo Andino; pero en contraposición a esto la relación entre el límite proporcional y el esfuerzo máximo, así como la deformación en el límite

proporcional y la deformación máxima de los resultados de nuestra investigación, no se ajustan a las observaciones hechas por el Manual como lo podemos observar en el presente cuadro:

TIPO DE PROBETAS.	Valor del Esfuerzo en (Kg/Cm ²) Com. Par. a la Fibra.		Deformación Unitaria Comp. Par. a la Fibra.		% del límite proporcional con respecto al límite de rotura.	
	Limit Prop.	Máximo	Limit Prop.	Máximo	En esfuerzo	En deformación
Probetas .	153.775	163.033	0.0102	0.0131	94.32 %	77.67 %

Cuadro 49: Porcentaje del límite proporcional con respecto al límite de rotura para Compresión Paralela a la fibra

Sin embargo lo referido por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino en su sección 1.4.1, es el producto del promedio del estudio de 104 especies, cada una con diferentes valores en porcentaje del límite proporcional respecto al límite de rotura para compresión paralela, por lo que consideramos que lo establecido en el *cuadro 93* son valores correctos para probetas de laboratorio de madera *Pinus Radiata*.

El esfuerzo admisible al límite de exclusión del 5% relativo a compresión paralela a la fibra para probetas No preservadas de la madera *Pinus Radiata* encontrada por nuestra investigación es de 63 Kg/Cm² y el esfuerzo admisible promedio relativo a compresión paralela a la fibra para probetas No preservadas de la madera *Pinus Radiata* encontrada por nuestra investigación es de 81 Kg/Cm², estos valores se ajustan a lo establecido en las tablas 7.1, 9.2 y 13.2 del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, el cual establece un valor de 80 Kg/Cm² para el esfuerzo máximo admisible de compresión paralela a la fibra ($f_{c//}$), relativo a la madera perteneciente al grupo estructural tipo C.

PROPIEDAD	VALORES KG/CM ²
Módulo de Elasticidad Promedio (MOE).	15384.540
MOE al Límite de Exclusión del 5%.	10603

Esfuerzo Admisible Promedio.	81.516
Esfuerzo Admisible al Límite de Exclusión del 5%.	63
Esfuerzo Promedio de Rotura.	163.033
Esfuerzo de Rotura al Límite Exclusión del 5%.	127
Esfuerzo Promedio en el Límite Proporcional.	153.775
Esfuerzo en el Límite Proporcional al Límite de Exclusión del 5%.	113

Cuadro 50: Resultados finales COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA (Probetas No Preservadas.).
Fuente: Elaboración propia

III.2.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS: COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA.

III.2.5.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO: COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA.

Nº	CODIGO PROBETA	CONTENDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD BASICA (gr./Cm³)	PUNTO EN EL LIMITE PROPORCIONAL		MODULO DE ELASTICIDAD (Kg./Cm²) $MOE = \frac{\sigma_{LP}}{Def Unit}$	ESFUERZO ADMISIBLE (Kg./Cm²) F.C.=1; F.T.=1; F.S.=1.60 F.D.C.=1 $\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_{LP}$
				Def. Unit.	Esfuerzo (Kg./Cm²)		
				"X"	"Y"		
1	I-5-1	121.512	0.375	0.0135	15.770	1172	10
2	I-5-2	91.332	0.354	0.0174	15.148	872	9
3	I-5-3	146.389	0.365	0.0155	14.943	965	9
4	I-5-4	158.303	0.365	0.0159	15.129	952	9
5	I-5-5	157.578	0.364	0.0157	15.341	975	10
6	II-5-6	163.287	0.382	0.0135	17.502	1296	11
7	II-5-7	170.798	0.377	0.0139	16.958	1222	11
8	II-5-8	178.546	0.373	0.0120	15.430	1288	10
9	II-5-9	108.374	0.389	0.0188	12.943	690	8
10	II-5-10	127.605	0.389	0.0107	13.245	1233	8
11	III-5-11	123.841	0.452	0.0160	19.652	1226	12
12	III-5-12	131.969	0.456	0.0139	17.915	1294	11
13	III-5-13	148.539	0.422	0.0139	13.249	953	8
14	III-5-14	149.839	0.422	0.0131	13.307	1019	8

15	III-5-15	151.613	0.428	0.0110	13.245	1201	8
M(X)		141.968	0.394	0.0143	15.318	1090.558	9.574
S(D)		23.235	0.032	0.002	1.932	178.496	1.207
CV%		16.366	8.128	15.148	12.610	16.367	12.610
Límite de Exclusión del 5% → 0.05 N.				0.0107	13	690	8

**Cuadro 51: Procesamiento Estadístico, COMPRESIÓN PERPENDICULAR
A LA FIBRA, probetas No preservadas.**
Fuente: Elaboración propia

Nº	CODIGO PROBETA	CONTENDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD BASICA (gr./Cm³)	PUNTO EN EL LIMITE PROPORCIONAL		MODULO DE ELASTICIDAD (Kg./Cm²) $MOE = \frac{\sigma_{LP}}{Def Unit}$	ESFUERZO ADMISIBLE (Kg./Cm²) F.C.=1; F.T.=1; F.S.=1.60 F.D.C.=1 $\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_{LP}$
				Def. Unit.	Esfuerzo (Kg./Cm²)		
				"X"	"Y"		
1	I-5-1	124.449	0.421	0.0177	21.131	1191	13
2	I-5-2	119.735	0.384	0.0147	19.311	1310	12
3	I-5-3	110.433	0.418	0.0173	23.256	1347	15
4	I-5-4	145.069	0.385	0.0146	18.722	1286	12
5	I-5-5	144.047	0.387	0.0168	19.914	1189	12
6	II-5-6	97.691	0.403	0.0127	21.184	1663	13
7	II-5-7	88.320	0.403	0.0152	23.240	1532	15
8	II-5-8	114.815	0.465	0.0165	22.819	1380	14
9	II-5-9	112.337	0.450	0.0183	25.032	1366	16
10	II-5-10	121.04	0.450	0.0184	24.587	1333	15
11	III-5-11	138.221	0.437	0.0159	20.888	1310	13
12	III-5-12	129.606	0.456	0.0179	24.894	1388	16
13	III-5-13	125.624	0.441	0.0156	20.855	1334	13
14	III-5-14	176.204	0.387	0.0154	14.925	972	9
15	III-5-15	166.85	0.391	0.0125	12.752	1023	8
M(X)		127.629	0.419	0.0160	20.901	1308.381	13.063
S(D)		22.866	0.028	0.002	3.384	166.615	2.115
CV%		17.916	6.742	11.265	16.192	12.734	16.192
Límite de Exclusión del 5% → 0.05 N.				0.0125	13	972	0.0125

Cuadro 52
Fuente: Elaboración propia

III.2.5.2 CONSTRUCCIÓN DE CURVAS: COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA:

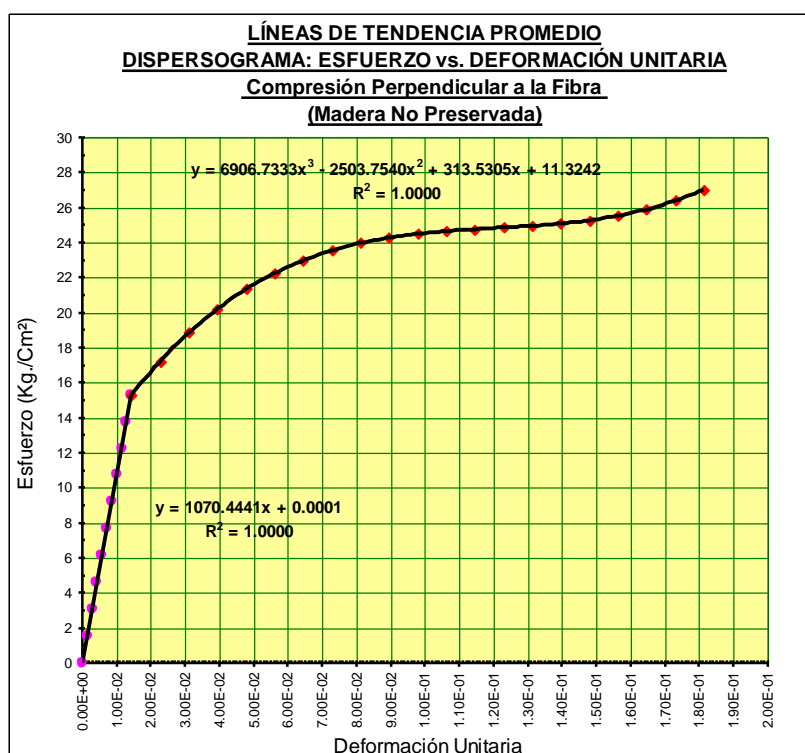
CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE COMPORTAMIENTO PROMEDIO, ESFUERZO VS. DEFORMACIÓN UNITARIA PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Nº Pto.	CÓDIGO PROB. I-5-1		CÓDIGO PROB. I-5-2		CÓDIGO PROB. I-5-3		CÓDIGO PROB. I-5-4		CÓDIGO PROB. I-5-5		CÓDIGO PROB. II-5-6		CÓDIGO PROB. II-5-7		CÓDIGO PROB. II-5-8	
	TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0013	1.5770	0.0017	1.5150	0.0015	1.4943	0.0016	1.5131	0.0016	1.5344	0.0014	1.7499	0.0014	1.6955	0.0012	1.5433
3	0.0027	3.1540	0.0035	3.0300	0.0031	2.9886	0.0032	3.0262	0.0031	3.0688	0.0027	3.4998	0.0028	3.3910	0.0024	3.0866
4	0.0040	4.7309	0.0052	4.5451	0.0046	4.4829	0.0048	4.5393	0.0047	4.6032	0.0041	5.2497	0.0042	5.0865	0.0036	4.6299
5	0.0054	6.3079	0.0069	6.0601	0.0062	5.9772	0.0064	6.0524	0.0063	6.1376	0.0054	6.9996	0.0056	6.7820	0.0048	6.1731
6	0.0067	7.8849	0.0087	7.5751	0.0077	7.4714	0.0079	7.5655	0.0079	7.6720	0.0068	8.7495	0.0069	8.4775	0.0060	7.7164
7	0.0081	9.4619	0.0104	9.0901	0.0093	8.9657	0.0095	9.0786	0.0094	9.2064	0.0081	10.4994	0.0083	10.1730	0.0072	9.2597
8	0.0094	11.0389	0.0122	10.6051	0.0108	10.4600	0.0111	10.5917	0.0110	10.7408	0.0095	12.2493	0.0097	11.8685	0.0084	10.8030
9	0.0108	12.6159	0.0139	12.1201	0.0124	11.9543	0.0127	12.1047	0.0126	12.2752	0.0108	13.9991	0.0111	13.5639	0.0096	12.3463
10	0.0121	14.1928	0.0156	13.6352	0.0139	13.4486	0.0143	13.6178	0.0142	13.8096	0.0122	15.7490	0.0125	15.2594	0.0108	13.8896
11	0.0135	15.7698	0.0174	15.1483	0.0155	14.9427	0.0159	15.1286	0.0157	15.3407	0.0135	17.5025	0.0139	16.9582	0.0120	15.4299
12	0.0218	17.3086	0.0265	17.0275	0.0237	16.8684	0.0241	16.9029	0.0239	17.0307	0.0218	19.1546	0.0222	18.4740	0.0204	17.1809
13	0.0301	18.5801	0.0356	18.6284	0.0319	18.4636	0.0323	18.3999	0.0322	18.4598	0.0302	20.5749	0.0305	19.7507	0.0288	18.6685
14	0.0384	19.6094	0.0448	19.9741	0.0402	19.7587	0.0405	19.6436	0.0404	19.6504	0.0385	21.7811	0.0388	20.8101	0.0372	19.9158
15	0.0468	20.4219	0.0539	21.0877	0.0484	20.7844	0.0487	20.6578	0.0486	20.6250	0.0468	22.7910	0.0471	21.6739	0.0456	20.9463
16	0.0551	21.0429	0.0630	21.9922	0.0566	21.5713	0.0569	21.4667	0.0568	21.4061	0.0551	23.6227	0.0554	22.3638	0.0540	21.7833
17	0.0634	21.4977	0.0722	22.7107	0.0648	22.1500	0.0651	22.0941	0.0650	22.0161	0.0635	24.2939	0.0637	22.9014	0.0624	22.4500
18	0.0717	21.8116	0.0813	23.2661	0.0731	22.5512	0.0733	22.5642	0.0732	22.4774	0.0718	24.8226	0.0720	23.3085	0.0708	22.9698
19	0.0801	22.0099	0.0904	23.6816	0.0813	22.8053	0.0815	22.9007	0.0814	22.8127	0.0801	25.2266	0.0803	23.6068	0.0792	23.3660
20	0.0884	22.1179	0.0996	23.9800	0.0895	22.9431	0.0897	23.1277	0.0897	23.0442	0.0884	25.5238	0.0886	23.8178	0.0876	23.6618
21	0.0967	22.1608	0.1087	24.1846	0.0977	22.9951	0.0979	23.2693	0.0979	23.1946	0.0968	25.7320	0.0969	23.9634	0.0960	23.8806
22	0.1051	22.1641	0.1178	24.3183	0.1060	22.9919	0.1062	23.3492	0.1061	23.2861	0.1051	25.8692	0.1052	24.0653	0.1044	24.0456
23	0.1134	22.1529	0.1269	24.4042	0.1142	22.9642	0.1144	23.3917	0.1143	23.3414	0.1134	25.9532	0.1136	24.1450	0.1128	24.1803
24	0.1217	22.1527	0.1361	24.4652	0.1224	22.9426	0.1226	23.4205	0.1225	23.3829	0.1217	26.0019	0.1219	24.2243	0.1212	24.3078
25	0.1300	22.1886	0.1452	24.5245	0.1306	22.9576	0.1308	23.4597	0.1307	23.4329	0.1301	26.0331	0.1302	24.3250	0.1296	24.4515
26	0.1384	22.2860	0.1543	24.6051	0.1389	23.0399	0.1390	23.5332	0.1389	23.5141	0.1384	26.0648	0.1385	24.4686	0.1380	24.6348
27	0.1467	22.4703	0.1635	24.7300	0.1471	23.2201	0.1472	23.6651	0.1471	23.6489	0.1467	26.1148	0.1468	24.6768	0.1464	24.8808
28	0.1550	22.7666	0.1726	24.9222	0.1553	23.5287	0.1554	23.8793	0.1554	23.8596	0.1550	26.2011	0.1551	24.9715	0.1548	25.2130
29	0.1633	23.2003	0.1817	25.2048	0.1635	23.9965	0.1636	24.1998	0.1636	24.1688	0.1634	26.3413	0.1634	25.3742	0.1632	25.6545
30	0.1717	23.7967	0.1909	25.6008	0.1718	24.6540	0.1718	24.6505	0.1718	24.5990	0.1717	26.5535	0.1717	25.9066	0.1716	26.2288
31	0.1800	24.5811	0.2000	26.1333	0.1800	25.5317	0.1800	25.2555	0.1800	25.1726	0.1800	26.8556	0.1800	26.5905	0.1800	26.9591

Cuadro 53 Fuente: Elaboración propia

Nº Pto.	CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		PROMEDIO FABULACIÓN PTO. A PTO.	
	II-5-9		II-5-10		III-5-11		III-5-12		III-5-13		III-5-14		III-5-15			
	TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN			
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	M(x)	M(Y)
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0019	1.2942	0.0011	1.3242	0.0016	1.9651	0.0014	1.7918	0.0014	1.3251	0.0013	1.3311	0.0011	1.3247	0.0014	1.5319
3	0.0038	2.5883	0.0021	2.6484	0.0032	3.9301	0.0028	3.5836	0.0028	2.6503	0.0026	2.6621	0.0022	2.6493	0.0029	3.0638
4	0.0056	3.8825	0.0032	3.9726	0.0048	5.8952	0.0042	5.3754	0.0042	3.9754	0.0039	3.9932	0.0033	3.9740	0.0043	4.5957
5	0.0075	5.1767	0.0043	5.2967	0.0064	7.8602	0.0055	7.1671	0.0056	5.3005	0.0052	5.3243	0.0044	5.2987	0.0057	6.1276
6	0.0094	6.4708	0.0054	6.6209	0.0080	9.8253	0.0069	8.9589	0.0070	6.6256	0.0065	6.6554	0.0055	6.6233	0.0072	7.6595
7	0.0113	7.7650	0.0064	7.9451	0.0096	11.7904	0.0083	10.7507	0.0083	7.9508	0.0078	7.9864	0.0066	7.9480	0.0086	9.1914
8	0.0131	9.0592	0.0075	9.2693	0.0112	13.7554	0.0097	12.5425	0.0097	9.2759	0.0091	9.3175	0.0077	9.2726	0.0100	10.7233
9	0.0150	10.3534	0.0086	10.5935	0.0128	15.7205	0.0111	14.3343	0.0111	10.6010	0.0104	10.6486	0.0088	10.5973	0.0114	12.2552
10	0.0169	11.6475	0.0097	11.9177	0.0144	17.6855	0.0125	16.1261	0.0125	11.9261	0.0118	11.9797	0.0099	11.9220	0.0129	13.7871
11	0.0188	12.9426	0.0107	13.2453	0.0160	19.6517	0.0139	17.9152	0.0139	13.2493	0.0131	13.3074	0.0110	13.2449	0.0143	15.3185
12	0.0268	15.1999	0.0192	15.0590	0.0242	21.3078	0.0222	20.1397	0.0222	15.6838	0.0214	15.4900	0.0195	15.5305	0.0227	17.2239
13	0.0349	17.1055	0.0277	16.6321	0.0324	22.7224	0.0305	22.0442	0.0305	17.7872	0.0298	17.3339	0.0279	17.5325	0.0310	18.8456
14	0.0429	18.6910	0.0361	17.9842	0.0406	23.9152	0.0388	23.6547	0.0388	19.5845	0.0381	18.8698	0.0364	19.2720	0.0394	20.2076
15	0.0510	19.9884	0.0446	19.1352	0.0488	24.9059	0.0471	24.9974	0.0471	21.1009	0.0464	20.1279	0.0448	20.7699	0.0477	21.3343
16	0.0591	21.0295	0.0531	20.1048	0.0570	25.7140	0.0554	26.0985	0.0554	22.3614	0.0548	21.1388	0.0533	22.0470	0.0561	22.2495
17	0.0671	21.8461	0.0615	20.9127	0.0652	26.3591	0.0637	26.9842	0.0637	23.3911	0.0631	21.9327	0.0617	23.1244	0.0644	22.9776
18	0.0752	22.4700	0.0700	21.5788	0.0734	26.8609	0.0720	27.6806	0.0720	24.2150	0.0715	22.5402	0.0702	24.0230	0.0728	23.5427
19	0.0833	22.9331	0.0784	22.1228	0.0816	27.2389	0.0803	28.2138	0.0803	24.8582	0.0798	22.9916	0.0786	24.7637	0.0811	23.9688
20	0.0913	23.2671	0.0869	22.5644	0.0898	27.5129	0.0886	28.6101	0.0886	25.3458	0.0882	23.3173	0.0871	25.3675	0.0895	24.2801
21	0.0994	23.5039	0.0954	22.9234	0.0980	27.7024	0.0969	28.8955	0.0970	25.7029	0.0965	23.5477	0.0955	25.8553	0.0978	24.5008
22	0.1074	23.6754	0.1038	23.2196	0.1062	27.8269	0.1052	29.0962	0.1053	25.9546	0.1049	23.7134	0.1040	26.2481	0.1062	24.6549
23	0.1155	23.8133	0.1123	23.4728	0.1144	27.9062	0.1135	29.2384	0.1136	26.1259	0.1132	23.8445	0.1124	26.5668	0.1145	24.7667
24	0.1236	23.9495	0.1208	23.7026	0.1226	27.9599	0.1218	29.3482	0.1219	26.2418	0.1216	23.9717	0.1209	26.8322	0.1229	24.8603
25	0.1316	24.1157	0.1292	23.9290	0.1308	28.0075	0.1302	29.4518	0.1302	26.3276	0.1299	24.1253	0.1293	27.0655	0.1312	24.9597
26	0.1397	24.3439	0.1377	24.1715	0.1390	28.0687	0.1385	29.5754	0.1385	26.4081	0.1383	24.3356	0.1378	27.2875	0.1396	25.0892
27	0.1478	24.6659	0.1461	24.4501	0.1472	28.1631	0.1468	29.7450	0.1468	26.5086	0.1466	24.6331	0.1462	27.5191	0.1479	25.2728
28	0.1558	25.1135	0.1546	24.7844	0.1554	28.3103	0.1551	29.9869	0.1551	26.6541	0.1550	25.0483	0.1547	27.7813	0.1563	25.5347
29	0.1639	25.7184	0.1631	25.1942	0.1636	28.5299	0.1634	30.3272	0.1634	26.8696	0.1633	25.6115	0.1631	28.0950	0.1646	25.8991
30	0.1719	26.5126	0.1715	25.6993	0.1718	28.8415	0.1717	30.7920	0.1717	27.1803	0.1717	26.3531	0.1716	28.4813	0.1730	26.3900
31	0.1800	27.5278	0.1800	26.3194	0.1800	29.2648	0.1800	31.4076	0.1800	27.6112	0.1800	27.3035	0.1800	28.9609	0.1813	27.0316

Cuadro 54 Fuente: Elaboración propia



Cuadro 56

Tabulación Promedio Final: COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Fuente: Elaboración propia

CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE COMPORTAMIENTO PROMEDIO, ESFUERZO
vs. DEFORMACIÓN UNITARIA
PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Nº Pto.	CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.	
	I-5-1		I-5-2		I-5-3		I-5-4		I-5-5		II-5-6		II-5-7		II-5-8	
	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN	TABULACIÓN
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0018	2.1127	0.0015	1.9315	0.0017	2.3252	0.0015	1.8724	0.0017	1.9910	0.0013	2.1189	0.0015	2.3240	0.0017	2.2820
3	0.0035	4.2254	0.0029	3.8631	0.0035	4.6504	0.0029	3.7449	0.0034	3.9819	0.0025	4.2378	0.0030	4.6480	0.0033	4.5641
4	0.0053	6.3381	0.0044	5.7946	0.0052	6.9756	0.0044	5.6173	0.0050	5.9729	0.0038	6.3567	0.0046	6.9720	0.0050	6.8461
5	0.0071	8.4508	0.0059	7.7261	0.0069	9.3008	0.0058	7.4898	0.0067	7.9638	0.0051	8.4756	0.0061	9.2960	0.0066	9.1281
6	0.0089	10.5635	0.0074	9.6577	0.0086	11.6261	0.0073	9.3622	0.0084	9.9548	0.0064	10.5945	0.0076	11.6200	0.0083	11.4102
7	0.0106	12.6762	0.0088	11.5892	0.0104	13.9513	0.0087	11.2347	0.0101	11.9457	0.0076	12.7134	0.0091	13.9440	0.0099	13.6922
8	0.0124	14.7889	0.0103	13.5208	0.0121	16.2765	0.0102	13.1071	0.0117	13.9367	0.0089	14.8323	0.0106	16.2679	0.0116	15.9743
9	0.0142	16.9016	0.0118	15.4523	0.0138	18.6017	0.0116	14.9795	0.0134	15.9277	0.0102	16.9512	0.0121	18.5919	0.0132	18.2563
10	0.0160	19.0143	0.0133	17.3838	0.0155	20.9269	0.0131	16.8520	0.0151	17.9186	0.0115	19.0701	0.0137	20.9159	0.0149	20.5383
11	0.0177	21.1315	0.0147	19.3111	0.0173	23.2564	0.0146	18.7216	0.0168	19.9142	0.0127	21.1839	0.0152	23.2405	0.0165	22.8191
12	0.0259	22.9608	0.0230	21.5079	0.0254	25.7259	0.0228	21.1099	0.0249	21.2078	0.0211	23.0470	0.0234	24.6313	0.0247	24.7295
13	0.0340	24.5429	0.0313	23.3328	0.0335	27.7872	0.0311	23.0564	0.0331	22.2920	0.0295	24.6279	0.0317	25.8109	0.0329	26.3332
14	0.0421	25.8982	0.0395	24.8199	0.0417	29.4776	0.0394	24.6095	0.0412	23.1867	0.0378	25.9496	0.0399	26.7967	0.0411	27.6570
15	0.0502	27.0467	0.0478	26.0033	0.0498	30.8350	0.0476	25.8172	0.0494	23.9113	0.0462	27.0351	0.0481	27.6059	0.0492	28.7277
16	0.0583	28.0087	0.0561	26.9169	0.0579	31.8969	0.0559	26.7279	0.0576	24.4856	0.0546	27.9074	0.0564	28.2559	0.0574	29.5724
17	0.0664	28.8046	0.0643	27.5949	0.0661	32.7010	0.0642	27.3895	0.0657	24.9291	0.0629	28.5896	0.0646	28.7639	0.0656	30.2180

18	0.0745	29.4544	0.0726	28.0713	0.0742	33.2848	0.0725	27.8505	0.0739	25.2615	0.0713	29.1045	0.0729	29.1473	0.0737	30.6912
19	0.0826	29.9784	0.0808	28.3801	0.0824	33.6860	0.0807	28.1589	0.0821	25.5024	0.0796	29.4753	0.0811	29.4233	0.0819	31.0192
20	0.0908	30.3968	0.0891	28.5555	0.0905	33.9422	0.0890	28.3629	0.0902	25.6715	0.0880	29.7250	0.0893	29.6093	0.0901	31.2287
21	0.0989	30.7300	0.0974	28.6314	0.0986	34.0910	0.0973	28.5108	0.0984	25.7884	0.0964	29.8764	0.0976	29.7225	0.0983	31.3467
22	0.1070	30.9980	0.1056	28.6419	0.1068	34.1700	0.1056	28.6508	0.1065	25.8726	0.1047	29.9527	0.1058	29.7803	0.1064	31.4000
23	0.1151	31.2211	0.1139	28.6211	0.1149	34.2169	0.1138	28.8309	0.1147	25.9439	0.1131	29.9768	0.1141	29.7999	0.1146	31.4157
24	0.1232	31.4196	0.1222	28.6030	0.1230	34.2693	0.1221	29.0995	0.1229	26.0219	0.1215	29.9717	0.1223	29.7987	0.1228	31.4206
25	0.1313	31.6137	0.1304	28.6217	0.1312	34.3647	0.1304	29.5047	0.1310	26.1262	0.1298	29.9605	0.1306	29.7940	0.1310	31.4416
26	0.1394	31.8235	0.1387	28.7112	0.1393	34.5409	0.1386	30.0947	0.1392	26.2764	0.1382	29.9661	0.1388	29.8030	0.1391	31.5057
27	0.1475	32.0694	0.1469	28.9056	0.1475	34.8354	0.1469	30.9177	0.1474	26.4922	0.1465	30.0115	0.1470	29.8431	0.1473	31.6397
28	0.1557	32.3716	0.1552	29.2389	0.1556	35.2859	0.1552	32.0220	0.1555	26.7932	0.1549	30.1197	0.1553	29.9316	0.1555	31.8705
29	0.1638	32.7502	0.1635	29.7452	0.1637	35.9299	0.1635	33.4556	0.1637	27.1990	0.1633	30.3138	0.1635	30.0857	0.1637	32.2252
30	0.1719	33.2256	0.1717	30.4586	0.1719	36.8051	0.1717	35.2668	0.1718	27.7293	0.1716	30.6167	0.1718	30.3228	0.1718	32.7305
31	0.1800	33.8179	0.1800	31.4131	0.1800	37.9491	0.1800	37.5038	0.1800	28.4036	0.1800	31.0514	0.1800	30.6602	0.1800	33.4134

Cuadro 55 Fuente: Elaboración propia

TIPO DE PROBETAS.	Valor del Esfuerzo (σ) en el Límite Proporcional (Kg/Cm ²) Com. Par. a la Fibra.	Valor del Esfuerzo (σ) en el Límite Proporcional (Kg/Cm ²) Com. Perp. a la Fibra.
Probetas.	153.775	15.318

Cuadro 56: Relación: esfuerzo en el límite proporcional Compresión Paralela a la fibra - esfuerzo en el límite proporcional Compresión Perpendicular a la fibra
Fuente: Elaboración propia

Sin embargo lo referido por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino en su sección 1.4.2, es el producto del promedio del estudio de 104 especies, cada una con diferentes valores de relación entre el esfuerzo en el límite proporcional para compresión paralela y el esfuerzo en el límite proporcional para compresión perpendicular; nosotros hemos desarrollado de manera correcta, fidedigna y meticulosa tanto los ensayos en laboratorio como el trabajo de gabinete, por lo que establecemos que para la madera *Pinus Radiata* del bosque Piedra Grande,

PROPIEDAD	VALORES KG/CM2
Módulo de Elasticidad Promedio (MOE).	1090.558
MOE al Límite de Exclusión del 5%.	690

Esfuerzo Admisible Promedio.	9.574
Esfuerzo Admisible al Límite de Exclusión del 5%.	8
Esfuerzo Promedio en el Límite Proporcional.	15.318
Esfuerzo en el Límite Proporcional al Límite de Exclusión del 5%.	13

Cuadro 57: Resultados finales COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Fuente: Elaboración propia

III.2.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS: TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.

Procesamiento Estadístico, TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA.

Nº	CODIGO PROBETA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD BASICA (gr./Cm³)	PUNTO EN EL LIMITE PROPORCIONAL		PUNTO DE ROTURA		MODULO DE ELASTICIDAD (Kg./Cm²) $MOE = \frac{\sigma_{LP}}{Def Unit}$	ESFUERZO ADMISIBLE (Kg./Cm²) F.C.=0.8; F.T.=0.9; F.S.=2 F.D.C.=1.15 $\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_R$
				Def. Unit.	Esfuerzo (Kg./Cm²)	Def. Unit.	Esfuerzo (Kg./Cm²)		
				"X"	"Y"	"X"	"Y"		
1	I-6-1	80.769	0.36	0.0328	677.741	0.0337	683.402	20638	214
2	I-6-2	92.564	0.397	0.0308	687.887	0.0356	729.211	22327	228
3	I-6-3	74.79	0.402	0.0229	441.675	0.0248	456.529	19296	143
4	I-6-4	75.154	0.400	0.0316	561.866	0.0323	562.297	17792	176
5	I-6-5	84.578	0.383	0.0268	456.376	0.0286	467.376	17048	146
6	II-6-6	121.205	0.403	0.0374	687.706	0.0389	689.849	18398	216
7	II-6-7	84.862	0.401	0.0445	645.198	0.0516	692.066	14499	217
8	II-6-8	127.673	0.391	0.0279	817.153	0.0295	835.345	29331	261
9	II-6-9	111.844	0.387	0.0240	700.052	0.0246	705.090	29218	221
10	II-6-10	58.643	0.381	0.0383	733.774	0.0405	736.359	19164	231
11	III-6-11	107.821	0.405	0.0286	728.961	0.0309	746.576	25506	234
12	III-6-12	99.423	0.375	0.0118	234.837	0.0125	238.195	19868	75
13	III-6-13	64.057	0.366	0.0194	373.036	0.0204	378.589	19209	119
14	III-6-14	95.238	0.393	0.0293	398.988	0.0451	498.094	13631	156
15	III-6-15	103.647	0.438	0.0242	469.876	0.0243	469.915	19432	147
M(X)		92.151	0.392	0.0287	574.342	0.0316	592.593	20356.968	185.507
S(D)		19.453	0.018	0.008	162.206	0.010	161.805	4437.657	50.652
CV%		21.110	4.606	27.001	28.242	30.513	27.305	21.799	27.305
Límite de Exclusión del 5% → .05N.				0.0118	235	0.0125	238	13631	75

Cuadro 58 Fuente: Elaboración propia

III.2.6.1 CONSTRUCCIÓN DE CURVAS: TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA:

CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE COMPORTAMIENTO PROMEDIO, ESFUERZO VS. DEFORMACIÓN UNITARIA PARA TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA (MADERA NO PRESERVADA).

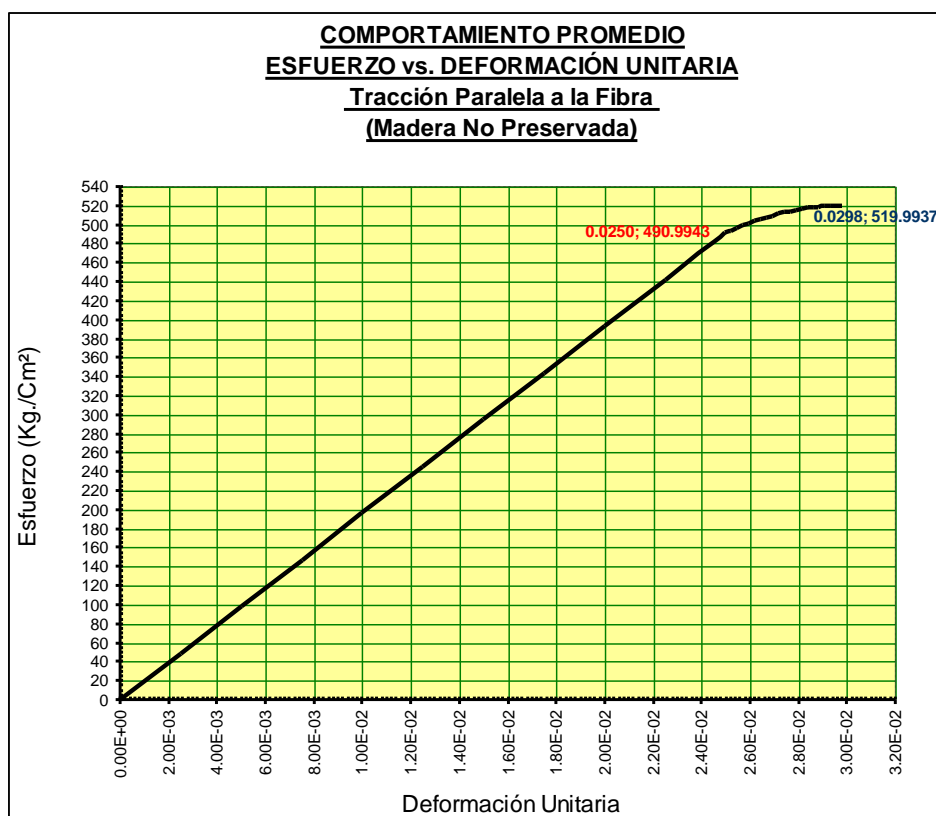
N o P to	CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.	
	I-7-1		I-7-2		I-7-3		I-7-4		III-7-5		II-7-6		II-7-7		I-7-8	
	TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0016	28.6250	0.0028	35.7325	0.0030	66.9662	0.0032	68.6904	0.0033	66.0287	0.0017	35.3558	0.0032	59.8857	0.0033	76.7625
3	0.0032	57.2501	0.0057	71.4650	0.0061	133.9325	0.0063	137.3809	0.0066	132.0575	0.0034	70.7116	0.0063	119.7715	0.0067	153.5250
4	0.0048	85.8751	0.0085	107.1975	0.0091	200.8987	0.0095	206.0713	0.0098	198.0862	0.0052	106.0674	0.0095	179.6572	0.0100	230.2875
5	0.0064	114.5002	0.0114	142.9299	0.0122	267.8649	0.0127	274.7617	0.0131	264.1150	0.0069	141.4232	0.0127	239.5430	0.0134	307.0500
6	0.0080	143.1252	0.0142	178.6624	0.0152	334.8312	0.0158	343.4521	0.0164	330.1437	0.0086	176.7790	0.0158	299.4287	0.0167	383.8125
7	0.0096	171.7503	0.0171	214.3949	0.0183	401.7974	0.0190	412.1426	0.0197	396.1725	0.0103	212.1348	0.0190	359.3145	0.0201	460.5749
8	0.0112	200.3753	0.0199	250.1274	0.0213	468.7636	0.0222	480.8330	0.0230	462.2012	0.0120	247.4906	0.0222	419.2002	0.0234	537.3374
9	0.0128	229.0003	0.0228	285.8599	0.0244	535.7299	0.0253	549.5234	0.0262	528.2300	0.0137	282.8464	0.0253	479.0860	0.0268	614.0999
10	0.0144	257.6254	0.0256	321.5924	0.0274	602.6961	0.0285	618.2138	0.0295	594.2587	0.0155	318.2022	0.0285	538.9717	0.0301	690.8624
11	0.0160	286.2146	0.0285	357.3223	0.0305	669.6677	0.0317	686.9179	0.0328	660.2959	0.0172	359.6570	0.0317	598.8629	0.0334	767.6378
12	0.0165	290.9332	0.0290	363.3500	0.0310	679.4710	0.0320	689.0903	0.0330	661.8951	0.0172	359.7135	0.0320	603.2456	0.0337	771.9371
13	0.0169	295.4098	0.0295	369.0687	0.0315	688.7717	0.0324	691.1512	0.0331	663.4123	0.0172	359.7670	0.0324	607.4035	0.0339	776.0158
14	0.0174	299.6444	0.0300	374.4781	0.0320	697.5698	0.0328	693.1006	0.0333	664.8475	0.0172	359.8176	0.0327	611.3366	0.0341	779.8737
15	0.0179	303.6370	0.0305	379.5785	0.0325	705.8654	0.0332	694.9386	0.0334	666.2006	0.0172	359.8653	0.0331	615.0450	0.0343	783.5110
16	0.0183	307.3876	0.0310	384.3697	0.0330	713.6584	0.0336	696.6651	0.0336	667.4716	0.0172	359.9100	0.0334	618.5287	0.0346	786.9276
17	0.0188	310.8962	0.0316	388.8518	0.0335	720.9487	0.0339	698.2801	0.0338	668.6607	0.0173	359.9518	0.0338	621.7875	0.0348	790.1235
18	0.0192	314.1628	0.0321	393.0247	0.0340	727.7365	0.0343	699.7836	0.0339	669.7676	0.0173	359.9907	0.0341	624.8216	0.0350	793.0987
19	0.0197	317.1874	0.0326	396.8885	0.0344	734.0217	0.0347	701.1756	0.0341	670.7925	0.0173	360.0266	0.0345	627.6310	0.0352	795.8532
20	0.0202	319.9700	0.0331	400.4432	0.0349	739.8043	0.0351	702.4562	0.0342	671.7354	0.0173	360.0596	0.0348	630.2156	0.0354	798.3870
21	0.0206	322.5105	0.0336	403.6887	0.0354	745.0844	0.0354	703.6253	0.0344	672.5963	0.0173	360.0897	0.0352	632.5754	0.0357	800.7001
22	0.0211	324.8091	0.0341	406.6251	0.0359	749.8618	0.0358	704.6829	0.0346	673.3750	0.0173	360.1168	0.0356	634.7105	0.0359	802.7926
23	0.0215	326.8656	0.0347	409.2524	0.0364	754.1367	0.0362	705.6290	0.0347	674.0718	0.0173	360.1410	0.0359	636.6208	0.0361	804.6643
24	0.0220	328.6802	0.0352	411.5705	0.0369	757.9090	0.0366	706.4637	0.0349	674.6865	0.0173	360.1623	0.0363	638.3064	0.0363	806.3154
25	0.0225	330.2527	0.0357	413.5795	0.0374	761.1786	0.0370	707.1869	0.0350	675.2191	0.0174	360.1807	0.0366	639.7672	0.0366	807.7458
26	0.0229	331.5832	0.0362	415.2793	0.0379	763.9457	0.0373	707.7986	0.0352	675.6697	0.0174	360.1961	0.0370	641.0032	0.0368	808.9555
27	0.0234	332.6717	0.0367	416.6700	0.0384	766.2103	0.0377	708.2988	0.0354	676.0382	0.0174	360.2086	0.0373	642.0145	0.0370	809.9445
28	0.0238	333.5182	0.0372	417.7516	0.0389	767.9722	0.0381	708.6876	0.0355	676.3247	0.0174	360.2181	0.0377	642.8010	0.0372	810.7128
29	0.0243	334.1227	0.0378	418.5241	0.0394	769.2315	0.0385	708.9649	0.0357	676.5292	0.0174	360.2247	0.0380	643.3628	0.0374	811.2605
30	0.0248	334.4852	0.0383	418.9874	0.0399	769.9883	0.0388	709.1307	0.0358	676.6516	0.0174	360.2284	0.0384	643.6998	0.0377	811.5874
31	0.0252	334.6057	0.0388	419.1416	0.0404	770.2424	0.0392	709.1850	0.0360	676.6920	0.0174	360.2292	0.0387	643.8120	0.0379	811.6937

Cuadro 59 Fuente: Elaboración propia

Nº Pto.	CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		PROMEDIO FABULACIÓN PTO. A PTO.	
	II-7-9		II-7-10		II-7-11		III-7-12		III-7-13		III-7-14		III-7-15			
	TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN			
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	M(x)	M(Y)
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0019	21.5548	0.0022	43.2453	0.0019	39.0218	0.0023	44.8125	0.0016	31.4217	0.0027	49.6289	0.0026	67.4590	0.0025	49.0127
3	0.0038	43.1097	0.0045	86.4905	0.0037	78.0437	0.0047	89.6250	0.0031	62.8434	0.0054	99.2579	0.0052	134.9179	0.0050	98.0255
4	0.0057	64.6645	0.0067	129.7358	0.0056	117.0655	0.0070	134.4375	0.0047	94.2651	0.0081	148.8868	0.0078	202.3769	0.0075	147.0382
5	0.0076	86.2193	0.0090	172.9811	0.0075	156.0874	0.0094	179.2499	0.0063	125.6868	0.0108	198.5157	0.0105	269.8359	0.0100	196.0509
6	0.0095	107.7742	0.0112	216.2263	0.0094	195.1092	0.0117	224.0624	0.0079	157.1085	0.0135	248.1446	0.0131	337.2949	0.0125	245.0637
7	0.0115	129.3290	0.0134	259.4716	0.0112	234.1311	0.0141	268.8749	0.0094	188.5302	0.0163	297.7736	0.0157	404.7538	0.0150	294.0764
8	0.0134	150.8839	0.0157	302.7169	0.0131	273.1529	0.0164	313.6874	0.0110	219.9519	0.0190	347.4025	0.0183	472.2128	0.0175	343.0891
9	0.0153	172.4387	0.0179	345.9621	0.0150	312.1748	0.0188	358.4999	0.0126	251.3736	0.0217	397.0314	0.0209	539.6718	0.0200	392.1019
10	0.0172	193.9935	0.0202	389.2074	0.0168	351.1966	0.0211	403.3124	0.0142	282.7953	0.0244	446.6603	0.0235	607.1308	0.0225	441.1146
11	0.0191	215.5429	0.0224	432.4878	0.0187	390.2735	0.0235	448.1166	0.0157	314.2038	0.0271	496.2124	0.0261	674.5834	0.0250	490.5331
12	0.0193	216.7314	0.0229	437.0076	0.0187	390.5259	0.0236	449.1238	0.0159	317.1962	0.0271	496.2430	0.0261	674.6203	0.0252	493.4056
13	0.0195	217.8589	0.0235	441.2955	0.0188	390.7653	0.0236	450.0796	0.0161	320.0353	0.0271	496.2721	0.0262	674.6553	0.0254	496.1308
14	0.0196	218.9256	0.0240	445.3516	0.0188	390.9919	0.0237	450.9837	0.0163	322.7209	0.0272	496.2995	0.0262	674.6883	0.0257	498.7087
15	0.0198	219.9314	0.0245	449.1758	0.0188	391.2055	0.0238	451.8363	0.0165	325.2531	0.0272	496.3254	0.0262	674.7195	0.0259	501.1392
16	0.0200	220.8763	0.0250	452.7683	0.0188	391.4063	0.0239	452.6374	0.0166	327.6319	0.0272	496.3497	0.0262	674.7487	0.0262	503.4225
17	0.0202	221.7604	0.0255	456.1289	0.0189	391.5941	0.0240	453.3869	0.0168	329.8574	0.0272	496.3724	0.0262	674.7760	0.0264	505.5584
18	0.0204	222.5836	0.0261	459.2576	0.0189	391.7691	0.0241	454.0848	0.0170	331.9294	0.0272	496.3935	0.0262	674.8014	0.0267	507.5470
19	0.0206	223.3459	0.0266	462.1546	0.0189	391.9311	0.0242	454.7311	0.0172	333.8481	0.0273	496.4130	0.0262	674.8249	0.0269	509.3884
20	0.0208	224.0473	0.0271	464.8197	0.0190	392.0803	0.0243	455.3260	0.0174	335.6133	0.0273	496.4310	0.0262	674.8465	0.0271	511.0824
21	0.0209	224.6879	0.0276	467.2530	0.0190	392.2166	0.0244	455.8692	0.0175	337.2252	0.0273	496.4473	0.0263	674.8662	0.0274	512.6290
22	0.0211	225.2675	0.0281	469.4545	0.0190	392.3399	0.0245	456.3609	0.0177	338.6837	0.0273	496.4621	0.0263	674.8839	0.0276	514.0284
23	0.0213	225.7863	0.0287	471.4241	0.0190	392.4504	0.0246	456.8010	0.0179	339.9887	0.0273	496.4753	0.0263	674.8997	0.0279	515.2805
24	0.0215	226.2443	0.0292	473.1619	0.0191	392.5479	0.0247	457.1896	0.0181	341.1404	0.0274	496.4869	0.0263	674.9136	0.0281	516.3852
25	0.0217	226.6413	0.0297	474.6679	0.0191	392.6326	0.0248	457.5266	0.0183	342.1387	0.0274	496.4969	0.0263	674.9256	0.0284	517.3427
26	0.0219	226.9775	0.0302	475.9420	0.0191	392.7044	0.0249	457.8120	0.0185	342.9836	0.0274	496.5053	0.0263	674.9357	0.0286	518.1528
27	0.0220	227.2528	0.0308	476.9843	0.0191	392.7632	0.0250	458.0459	0.0186	343.6751	0.0274	496.5121	0.0263	674.9439	0.0288	518.8156
28	0.0222	227.4672	0.0313	477.7948	0.0192	392.8092	0.0251	458.2282	0.0188	344.2132	0.0274	496.5174	0.0264	674.9501	0.0291	519.3311
29	0.0224	227.6207	0.0318	478.3734	0.0192	392.8422	0.0252	458.3590	0.0190	344.5979	0.0275	496.5211	0.0264	674.9544	0.0293	519.6993
30	0.0226	227.7134	0.0323	478.7203	0.0192	392.8624	0.0253	458.4382	0.0192	344.8293	0.0275	496.5231	0.0264	674.9568	0.0296	519.9202
31	0.0228	227.7452	0.0328	478.8353	0.0193	392.8697	0.0254	458.4658	0.0194	344.9072	0.0275	496.5236	0.0264	674.9573	0.0298	519.9937

Cuadro 60

Fuente: Elaboración propia



Cuadro 64 Fuente: Elaboración propia

CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE COMPORTAMIENTO PROMEDIO, ESFUERZO vs.
DEFORMACIÓN UNITARIA
PARA TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA (MADERA NO PRESERVADA).

Nº Pto	CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.	
	I-7-1		I-7-2		I-7-3		I-7-4		III-7-5		II-7-6		II-7-7		I-7-8	
	TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0033	67.7729	0.0031	68.7879	0.0023	44.1671	0.0032	56.1916	0.0027	45.6371	0.0037	68.7646	0.0045	64.5200	0.0028	81.7134
3	0.0066	135.5458	0.0062	137.5759	0.0046	88.3342	0.0063	112.3833	0.0054	91.2741	0.0075	137.5292	0.0089	129.0400	0.0056	163.4269
4	0.0099	203.3187	0.0092	206.3638	0.0069	132.5013	0.0095	168.5749	0.0080	136.9112	0.0112	206.2938	0.0134	193.5600	0.0084	245.1403
5	0.0131	271.0916	0.0123	275.1517	0.0092	176.6684	0.0126	224.7665	0.0107	182.5483	0.0150	275.0583	0.0178	258.0800	0.0111	326.8538
6	0.0164	338.8645	0.0154	343.9397	0.0114	220.8355	0.0158	280.9581	0.0134	228.1854	0.0187	343.8229	0.0223	322.6000	0.0139	408.5672
7	0.0197	406.6374	0.0185	412.7276	0.0137	265.0026	0.0189	337.1498	0.0161	273.8224	0.0224	412.5875	0.0267	387.1200	0.0167	490.2807
8	0.0230	474.4103	0.0216	481.5156	0.0160	309.1697	0.0221	393.3414	0.0187	319.4595	0.0262	481.3521	0.0312	451.6400	0.0195	571.9941
9	0.0263	542.1832	0.0246	550.3035	0.0183	353.3368	0.0253	449.5330	0.0214	365.0966	0.0299	550.1167	0.0356	516.1600	0.0223	653.7076
10	0.0296	609.9561	0.0277	619.0914	0.0206	397.5039	0.0284	505.7247	0.0241	410.7337	0.0336	618.8813	0.0401	580.6799	0.0251	735.4210
11	0.0328	677.7409	0.0308	687.8868	0.0229	441.6750	0.0316	561.8662	0.0268	456.3756	0.0374	687.7061	0.0445	645.1984	0.0279	817.1533
12	0.0329	678.2930	0.0310	691.9154	0.0230	443.1211	0.0316	561.9085	0.0269	457.4455	0.0375	687.9153	0.0449	649.7699	0.0279	818.9287
13	0.0329	678.8168	0.0313	695.7374	0.0231	444.4931	0.0317	561.9487	0.0270	458.4607	0.0375	688.1138	0.0452	654.1068	0.0280	820.6130
14	0.0330	679.3123	0.0315	699.3528	0.0232	445.7910	0.0317	561.9866	0.0271	459.4211	0.0376	688.3016	0.0456	658.2092	0.0281	822.2062
15	0.0330	679.7794	0.0318	702.7617	0.0233	447.0150	0.0317	562.0224	0.0271	460.3268	0.0377	688.4786	0.0459	662.0770	0.0282	823.7082
16	0.0331	680.2183	0.0320	705.9641	0.0234	448.1648	0.0318	562.0559	0.0272	461.1778	0.0378	688.6448	0.0463	665.7104	0.0283	825.1190
17	0.0331	680.6288	0.0322	708.9598	0.0235	449.2407	0.0318	562.0873	0.0273	461.9741	0.0378	688.8004	0.0466	669.1091	0.0284	826.4387
18	0.0331	681.0109	0.0325	711.7490	0.0235	450.2425	0.0318	562.1166	0.0274	462.7157	0.0379	688.9451	0.0470	672.2734	0.0284	827.6673
19	0.0332	681.3648	0.0327	714.3316	0.0236	451.1703	0.0319	562.1436	0.0275	463.4025	0.0380	689.0791	0.0474	675.2031	0.0285	828.8048

20	0.0332	681.6903	0.0330	716.7077	0.0237	452.0241	0.0319	562.1684	0.0276	464.0346	0.0381	689.2024	0.0477	677.8983	0.0286	829.8510
21	0.0333	681.9875	0.0332	718.8772	0.0238	452.8038	0.0320	562.1911	0.0277	464.6120	0.0381	689.3149	0.0481	680.3589	0.0287	830.8062
22	0.0333	682.2564	0.0334	720.8401	0.0239	453.5094	0.0320	562.2115	0.0278	465.1347	0.0382	689.4167	0.0484	682.5850	0.0288	831.6702
23	0.0333	682.4969	0.0337	722.5965	0.0240	454.1411	0.0320	562.2298	0.0279	465.6026	0.0383	689.5078	0.0488	684.5766	0.0289	832.4431
24	0.0334	682.7091	0.0339	724.1463	0.0241	454.6987	0.0321	562.2459	0.0280	466.0159	0.0384	689.5880	0.0491	686.3337	0.0290	833.1248
25	0.0334	682.8930	0.0342	725.4895	0.0242	455.1823	0.0321	562.2599	0.0281	466.3744	0.0385	689.6576	0.0495	687.8562	0.0290	833.7153
26	0.0335	683.0486	0.0344	726.6262	0.0243	455.5918	0.0321	562.2716	0.0282	466.6782	0.0385	689.7164	0.0499	689.1442	0.0291	834.2148
27	0.0335	683.1759	0.0346	727.5563	0.0244	455.9273	0.0322	562.2811	0.0283	466.9273	0.0386	689.7644	0.0502	690.1976	0.0292	834.6231
28	0.0336	683.2748	0.0349	728.2798	0.0245	456.1888	0.0322	562.2885	0.0284	467.1216	0.0387	689.8017	0.0506	691.0165	0.0293	834.9402
29	0.0336	683.3454	0.0351	728.7967	0.0246	456.3762	0.0322	562.2937	0.0285	467.2612	0.0388	689.8283	0.0509	691.6009	0.0294	835.1662
30	0.0336	683.3877	0.0354	729.1071	0.0247	456.4896	0.0323	562.2967	0.0285	467.3461	0.0388	689.8441	0.0513	691.9507	0.0295	835.3011
31	0.0337	683.4016	0.0356	729.2110	0.0248	456.5289	0.0323	562.2975	0.0286	467.3763	0.0389	689.8491	0.0516	692.0660	0.0295	835.3448

Cuadro 61 Fuente: Elaboración propia

El Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino en su sección 1.4.3 (Resistencia a la Tracción) establece que la resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela, adicionalmente señala que el valor típico que caracteriza a este ensayo es el esfuerzo de rotura que varía entre 500 y 1500 Kg/Cm².

La resistencia a la tracción paralela a la fibra encontrada en nuestra investigación para probetas No preservadas y Preservadas, en relación con la resistencia a la compresión paralela encontrada por nuestra investigación, cumple con lo establecido en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (sección 1.4.3), como lo demostramos en el siguiente cuadro:

TIPO DE RESITENCIA	VALORES KG/CM2
Esfuerzo de Rotura	519.994
Esfuerzo en el Límite Proporcional.	490.533
Esfuerzo Admisible	162.781

Cuadro 62: Esfuerzo Tracción Paralela a la fibra.
Fuente: Elaboración propia

Finalmente podemos concluir que los resultados de nuestra investigación relativa a la tracción paralela a la fibra se sintetizan en el siguiente cuadro:

PROPIEDAD	VALORES KG/CM2
Módulo de Elasticidad Promedio (MOE).	19446.365

MOE al Límite de Exclusión del 5%.	11291
Esfuerzo Admisible Promedio.	162.781
Esfuerzo Admisible al Límite de Exclusión del 5%.	71
Esfuerzo Promedio de Rotura.	519.994
Esfuerzo de Rotura al Límite de Exclusión del 5%.	228
Esfuerzo Promedio en el Límite Proporcional.	490.533
Esfuerzo en el Límite Proporcional al Límite de Exclusión del 5%.	216

Cuadro 63: Resultados finales TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA
Fuente: Elaboración propia

III.2.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS: FLEXIÓN ESTÁTICA.

III.2.7.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO: FLEXIÓN ESTÁTICA.

Nº	CODIGO PROBETA	CONTENDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD BASICA (gr./Cm³)	PUNTO EN EL LIMITE PROPORCIONAL		PUNTO DE ROTURA		MODULO DE ELASTICIDAD (Kg./Cm²) $MOE = \frac{\sigma_{LP}}{Def Unit}$ $\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_R$	ESFUERZO ADMISIBLE (Kg./Cm²) F.C.=0.8; F.T.=0.9; F.S.=2 F.D.C.=1.15
				Def. Unit.	Esfuerzo (Kg./Cm²)	Def. Unit.	Esfuerzo (Kg./Cm²)		
				"X"	"Y"	"X"	"Y"		
1	I-7-1	157.236	0.393	0.0048	201.653	0.0177	298.063	42011	93
2	I-7-2	145.324	0.417	0.0047	207.316	0.0204	332.649	44298	104
3	I-7-3	122.902	0.42	0.0044	268.669	0.0180	359.997	60511	113
4	I-7-4	170.789	0.411	0.0045	231.204	0.0157	332.672	51265	104
5	III-7-5	148.415	0.458	0.0056	318.676	0.0265	440.041	56503	138
6	II-7-6	43.059	0.557	0.0085	333.987	0.0284	471.648	39154	148
7	II-7-7	77.205	0.372	0.0052	228.979	0.0154	313.215	44119	98
8	I-7-8	116.749	0.406	0.0047	238.568	0.0172	323.639	50651	101
9	II-7-9	100.911	0.366	0.0042	193.271	0.0146	292.669	46127	92
10	II-7-10	101.509	0.471	0.0058	264.104	0.0157	420.237	45301	132
11	II-7-11	152.03	0.39	0.0051	242.832	0.0162	349.405	47614	109
12	III-7-12	85.345	0.488	0.0063	316.914	0.0196	418.848	50224	131
13	III-7-13	104.454	0.449	0.0061	323.064	0.0194	454.796	53135	142
14	III-7-14	121.616	0.465	0.0041	253.965	0.0226	386.402	61344	121
15	III-7-15	87.442	0.457	0.0035	193.764	0.0167	365.454	55520	114
M(X)		115.666	0.435	0.0052	254.464	0.0189	370.649	49851.874	116.029

S(D)	33.804	0.049	0.001	47.165	0.004	56.251	6402.206	17.609
CV%	29.226	11.205	22.575	18.535	20.832	15.176	12.842	15.176
Límite de Exclusión del 5% → 0.05 N.			0.0035	193	0.0146	293	39154	92

Cuadro 64 Fuente: Elaboración propia

Nº	CODIGO PROBET A	CONTEND O DE HUMEDAD (%)	DENSIDA D BASICA (gr./Cm³)	PUNTO EN EL LIMITE PROPORCIONAL		PUNTO DE ROTURA		MODULO DE ELASTICIDA D (Kg./Cm²) $MOE = \frac{\sigma_{LP}}{Def Unit}$	ESFUERZO ADMISIBLE (Kg./Cm²) F.C.=0.8; F.T.=0.9; F.S.=2 F.D.C.=1.15 $\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_R$
				Def. Unit.	Esfuerzo (Kg./C m²)	Def. Unit.	Esfuerzo (Kg./C m²)		
				"X"	"Y"	"X"	"Y"		
1	I-7-1	131.366	0.443	0.0056	262.626	0.0163	377.986	47235	118
2	I-7-2	138.889	0.416	0.0043	235.592	0.0125	386.908	54409	121
3	I-7-3	108.070	0.450	0.0052	341.533	0.0147	456.079	65933	143
4	I-7-4	141.971	0.422	0.0045	244.953	0.0152	376.211	54434	118
5	III-7-5	120.437	0.504	0.0043	272.997	0.0117	437.784	64235	137
6	II-7-6	105.833	0.447	0.0059	278.013	0.0181	426.250	47041	133
7	II-7-7	176.319	0.405	0.0050	265.169	0.0146	395.946	53247	124
8	I-7-8	143.829	0.401	0.0041	206.629	0.0125	340.876	50153	107
9	II-7-9	103.277	0.556	0.0090	393.032	0.0245	539.010	43573	169
10	II-7-10	152.381	0.420	0.0056	281.616	0.0176	413.607	50110	129
11	II-7-11	174.112	0.421	0.0041	239.461	0.0127	385.835	57841	121
12	III-7-12	147.784	0.428	0.0050	243.574	0.0139	384.607	48328	120
13	III-7-13	117.747	0.475	0.0045	285.207	0.0153	423.224	63948	132
14	III-7-14	138.546	0.478	0.0040	264.681	0.0117	450.631	65678	141
15	III-7-15	137.846	0.469	0.0041	286.627	0.0107	439.898	70424	138
M(X)		135.894	0.449	0.0050	273.447	0.0148	415.657	55772.539	130.119
S(D)		21.538	0.040	0.001	43.478	0.003	45.431	8106.700	14.222
CV%		15.849	9.011	24.476	15.900	22.490	10.930	14.535	10.930
Límite de Exclusión del 5% → 0.05 N.				0.0040	207	0.0107	341	43573	107

Cuadro 65 Fuente: Elaboración propia

**CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE COMPORTAMIENTO PROMEDIO, ESFUERZO VS.
DEFORMACIÓN UNITARIA
PARA FLEXIÓN ESTÁTICA**

Nº Pto.	CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.	
	I-6-1		I-6-2		I-6-3		II-6-4		I-6-5		II-6-6		II-6-7		II-6-8	
	TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0005	20.1684	0.0005	20.7441	0.0004	26.8749	0.0005	23.1353	0.0006	31.8745	0.0009	33.4010	0.0005	22.8919	0.0005	23.8659
3	0.0010	40.3368	0.0009	41.4883	0.0009	53.7498	0.0009	46.2706	0.0011	63.7490	0.0017	66.8019	0.0010	45.7838	0.0009	47.7318
4	0.0014	60.5052	0.0014	62.2324	0.0013	80.6247	0.0014	69.4058	0.0017	95.6235	0.0026	100.2029	0.0016	68.6757	0.0014	71.5976
5	0.0019	80.6736	0.0019	82.9766	0.0018	107.4996	0.0018	92.5411	0.0023	127.4979	0.0034	133.6038	0.0021	91.5676	0.0019	95.4635
6	0.0024	100.8420	0.0023	103.7207	0.0022	134.3745	0.0023	115.6764	0.0028	159.3724	0.0043	167.0048	0.0026	114.4595	0.0024	119.3294
7	0.0029	121.0104	0.0028	124.4649	0.0027	161.2495	0.0027	138.8117	0.0034	191.2469	0.0051	200.4058	0.0031	137.3514	0.0028	143.1953
8	0.0034	141.1788	0.0033	145.2090	0.0031	188.1244	0.0032	161.9469	0.0039	223.1214	0.0060	233.8067	0.0036	160.2433	0.0033	167.0612
9	0.0038	161.3472	0.0037	165.9532	0.0036	214.9993	0.0036	185.0822	0.0045	254.9959	0.0068	267.2077	0.0042	183.1352	0.0038	190.9271
10	0.0043	181.5156	0.0042	186.6973	0.0040	241.8742	0.0041	208.2175	0.0051	286.8704	0.0077	300.6087	0.0047	206.0271	0.0042	214.7929
11	0.0048	201.6534	0.0047	207.3158	0.0044	268.6692	0.0045	231.2040	0.0056	318.6756	0.0085	333.9868	0.0052	228.9786	0.0047	238.5675
12	0.0054	211.0568	0.0055	219.5335	0.0051	277.5740	0.0051	241.0964	0.0067	330.5095	0.0095	347.4061	0.0057	237.1926	0.0053	246.8596
13	0.0061	219.9778	0.0062	231.1248	0.0058	286.0221	0.0056	250.4815	0.0077	341.7365	0.0105	360.1374	0.0062	244.9853	0.0060	254.7265
14	0.0067	228.4164	0.0070	242.0897	0.0065	294.0135	0.0062	259.3594	0.0088	352.3565	0.0115	372.1806	0.0067	252.3567	0.0066	262.1684
15	0.0074	236.3726	0.0078	252.4281	0.0072	301.5483	0.0067	267.7301	0.0098	362.3697	0.0125	383.5358	0.0072	259.3069	0.0072	269.1851
16	0.0080	243.8464	0.0086	262.1401	0.0078	308.6264	0.0073	275.5934	0.0108	371.7759	0.0135	394.2029	0.0077	265.8358	0.0078	275.7768
17	0.0087	250.8378	0.0094	271.2257	0.0085	315.2479	0.0079	282.9495	0.0119	380.5752	0.0145	404.1821	0.0082	271.9433	0.0084	281.9433
18	0.0093	257.3467	0.0102	279.6848	0.0092	321.4127	0.0084	289.7983	0.0129	388.7676	0.0155	413.4732	0.0088	277.6297	0.0091	287.6848
19	0.0100	263.3733	0.0110	287.5175	0.0099	327.1208	0.0090	296.1399	0.0140	396.3532	0.0165	422.0763	0.0093	282.8947	0.0097	293.0011
20	0.0106	268.9174	0.0117	294.7238	0.0106	332.3722	0.0095	301.9742	0.0150	403.3318	0.0175	429.9914	0.0098	287.7384	0.0103	297.8923
21	0.0113	273.9791	0.0125	301.3037	0.0112	337.1669	0.0101	307.3012	0.0161	409.7035	0.0185	437.2184	0.0103	292.1609	0.0109	302.3584
22	0.0119	278.5584	0.0133	307.2571	0.0119	341.5050	0.0107	312.1210	0.0171	415.4682	0.0195	443.7575	0.0108	296.1621	0.0116	306.3994
23	0.0126	282.6553	0.0141	312.5841	0.0126	345.3864	0.0112	316.4334	0.0181	420.6261	0.0205	449.6085	0.0113	299.7420	0.0122	310.0153
24	0.0132	286.2697	0.0149	317.2847	0.0133	348.8111	0.0118	320.2387	0.0192	425.1771	0.0215	454.7714	0.0118	302.9006	0.0128	313.2061
25	0.0139	289.4018	0.0157	321.3588	0.0140	351.7792	0.0123	323.5366	0.0202	429.1212	0.0224	459.2464	0.0123	305.6379	0.0134	315.9718
26	0.0145	292.0514	0.0164	324.8065	0.0146	354.2906	0.0129	326.3273	0.0213	432.4583	0.0234	463.0333	0.0128	307.9540	0.0140	318.3123
27	0.0151	294.2186	0.0172	327.6278	0.0153	356.3453	0.0135	328.6107	0.0223	435.1886	0.0244	466.1322	0.0133	309.8487	0.0147	320.2278
28	0.0158	295.9034	0.0180	329.8227	0.0160	357.9434	0.0140	330.3869	0.0233	437.3119	0.0254	468.5431	0.0139	311.3222	0.0153	321.7182
29	0.0164	297.1058	0.0188	331.3911	0.0167	359.0847	0.0146	331.6557	0.0244	438.8284	0.0264	470.2659	0.0144	312.3744	0.0159	322.7834
30	0.0171	297.8258	0.0196	332.3331	0.0174	359.7694	0.0151	332.4174	0.0254	439.7379	0.0274	471.3007	0.0149	313.0053	0.0165	323.4236
31	0.0177	298.0634	0.0204	332.6487	0.0180	359.9975	0.0157	332.6717	0.0265	440.0405	0.0284	471.6475	0.0154	313.2150	0.0172	323.6386

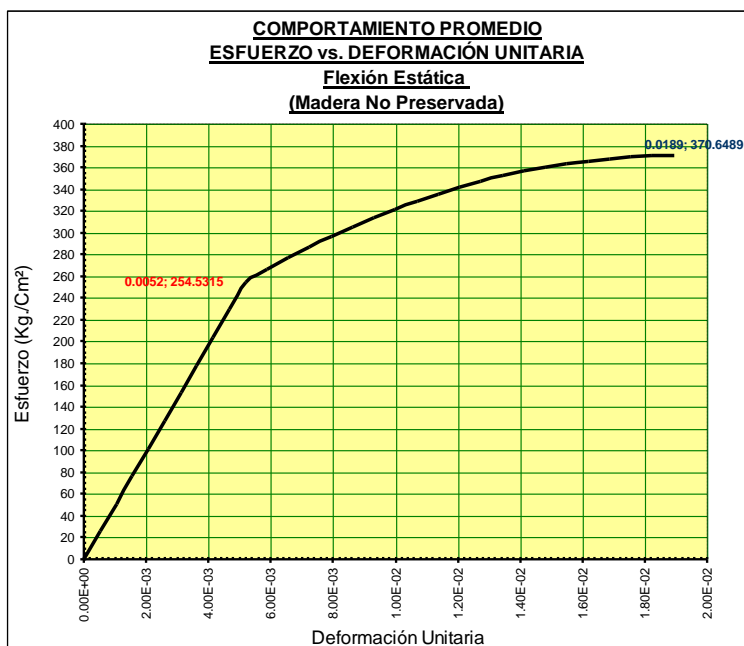
Cuadro 66 Fuente: Elaboración propia

Nº Pto.	CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		CÓDIGO PROB.		PROMEDIO. TABULACIÓN PTO. A PTO.	
	II-6-9		II-6-10		II-6-11		III-6-12		III-6-13		III-6-14		III-6-15			
	TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN		TABULACIÓN			
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	M(x)	M(Y)
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0004	19.3142	0.0006	26.4128	0.0005	24.2842	0.0006	31.6813	0.0006	32.3083	0.0004	25.3827	0.0003	19.3715	0.0005	25.4474
3	0.0008	38.6284	0.0012	52.8256	0.0010	48.5684	0.0013	63.3627	0.0012	64.6165	0.0008	50.7654	0.0007	38.7431	0.0010	50.8948
4	0.0013	57.9426	0.0017	79.2384	0.0015	72.8526	0.0019	95.0440	0.0018	96.9248	0.0012	76.1482	0.0010	58.1146	0.0016	76.3422
5	0.0017	77.2567	0.0023	105.6512	0.0020	97.1368	0.0025	126.7254	0.0024	129.2330	0.0017	101.5309	0.0014	77.4861	0.0021	101.7896

6	0.0021	96.5709	0.0029	132.0640	0.0026	121.4210	0.0032	158.4067	0.0030	161.5413	0.0021	126.9136	0.0017	96.8576	0.0026	127.2370
7	0.0025	115.8851	0.0035	158.4768	0.0031	145.7052	0.0038	190.0881	0.0036	193.8495	0.0025	152.2963	0.0021	116.2292	0.0031	152.6844
8	0.0029	135.1993	0.0041	184.8896	0.0036	169.9894	0.0044	221.7694	0.0043	226.1578	0.0029	177.6790	0.0024	135.6007	0.0036	178.1318
9	0.0034	154.5135	0.0047	211.3024	0.0041	194.2736	0.0050	253.4508	0.0049	258.4661	0.0033	203.0617	0.0028	154.9722	0.0041	203.5792
10	0.0038	173.8277	0.0052	237.7152	0.0046	218.5578	0.0057	285.1321	0.0055	290.7743	0.0037	228.4445	0.0031	174.3437	0.0047	229.0266
11	0.0042	193.2711	0.0058	264.1045	0.0051	242.8320	0.0063	316.9138	0.0061	323.0637	0.0041	253.9652	0.0035	193.7639	0.0052	254.4643
12	0.0047	202.9584	0.0063	279.3329	0.0057	253.2267	0.0070	326.8505	0.0067	335.9112	0.0051	266.8795	0.0042	210.5056	0.0059	265.7929
13	0.0052	212.1490	0.0068	293.7801	0.0062	263.0880	0.0076	336.2777	0.0074	348.0997	0.0060	279.1314	0.0048	226.3887	0.0066	276.5404
14	0.0058	220.8432	0.0073	307.4460	0.0068	272.4161	0.0083	345.1955	0.0081	359.6292	0.0069	290.7210	0.0055	241.4131	0.0072	286.7070
15	0.0063	229.0407	0.0078	320.3307	0.0073	281.2109	0.0090	353.6038	0.0087	370.4996	0.0078	301.6482	0.0061	255.5789	0.0079	296.2926
16	0.0068	236.7417	0.0083	332.4342	0.0079	289.4725	0.0096	361.5026	0.0094	380.7110	0.0088	311.9130	0.0068	268.8860	0.0086	305.2972
17	0.0073	243.9462	0.0088	343.7564	0.0084	297.2008	0.0103	368.8919	0.0101	390.2633	0.0097	321.5155	0.0075	281.3344	0.0093	313.7209
18	0.0078	250.6540	0.0093	354.2974	0.0090	304.3958	0.0109	375.7718	0.0107	399.1566	0.0106	330.4556	0.0081	292.9242	0.0100	321.5635
19	0.0084	256.8653	0.0098	364.0571	0.0095	311.0576	0.0116	382.1422	0.0114	407.3908	0.0115	338.7334	0.0088	303.6553	0.0107	328.8252
20	0.0089	262.5801	0.0103	373.0356	0.0101	317.1861	0.0123	388.0031	0.0121	414.9660	0.0125	346.3488	0.0094	313.5278	0.0114	335.5059
21	0.0094	267.7983	0.0108	381.2329	0.0106	322.7814	0.0129	393.3545	0.0128	421.8821	0.0134	353.3018	0.0101	322.5416	0.0121	341.6056
22	0.0099	272.5199	0.0112	388.6489	0.0112	327.8434	0.0136	398.1965	0.0134	428.1392	0.0143	359.5925	0.0108	330.6968	0.0127	347.1244
23	0.0104	276.7449	0.0117	395.2837	0.0117	332.3721	0.0143	402.5290	0.0141	433.7373	0.0152	365.2208	0.0114	337.9933	0.0134	352.0621
24	0.0110	280.4734	0.0122	401.1372	0.0123	336.3676	0.0149	406.3520	0.0148	438.6762	0.0162	370.1868	0.0121	344.4311	0.0141	356.4189
25	0.0115	283.7053	0.0127	406.2095	0.0128	339.8298	0.0156	409.6655	0.0154	442.9562	0.0171	374.4904	0.0128	350.0103	0.0148	360.1947
26	0.0120	286.4407	0.0132	410.5006	0.0134	342.7587	0.0162	412.4696	0.0161	446.5771	0.0180	378.1316	0.0134	354.7308	0.0155	363.3895
27	0.0125	288.6795	0.0137	414.0104	0.0139	345.1544	0.0169	414.7642	0.0168	449.5389	0.0189	381.1105	0.0141	358.5927	0.0162	366.0034
28	0.0130	290.4217	0.0142	416.7390	0.0145	347.0168	0.0176	416.5493	0.0174	451.8417	0.0198	383.4271	0.0147	361.5959	0.0169	368.0362
29	0.0136	291.6673	0.0147	418.6864	0.0151	348.3460	0.0182	417.8249	0.0181	453.4854	0.0208	385.0812	0.0154	363.7404	0.0176	369.4881
30	0.0141	292.4164	0.0152	419.8525	0.0156	349.1419	0.0189	418.5911	0.0188	454.4701	0.0217	386.0730	0.0161	365.0263	0.0182	370.3590
31	0.0146	292.6690	0.0157	420.2373	0.0162	349.4045	0.0196	418.8478	0.0194	454.7958	0.0226	386.4025	0.0167	365.4536	0.0189	370.6489

Cuadro 67 Fuente: Elaboración propia

III.2.7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS: FLEXIÓN ESTÁTICA.



El Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino en su sección 1.4.5 (Resistencia a la Flexión paralela al Grano) aclara que la resistencia a la flexión resulta en esfuerzos mayores que los de compresión y menores que los de tracción; además indica que la carga en el límite proporcional es aproximadamente el 60% de la carga máxima. En esta misma sección señala que en ensayos de probetas pequeñas libres de defectos los valores promedios de la resistencia a la flexión varían entre 200 y 1700 Kg/Cm² dependiendo de la densidad de la especie y el contenido de humedad.

TIPO DE ESFUERZO	Compresión Paralela a la fibra (Kg/Cm ²)	Flexión Estática (Kg/Cm ²)	Tracción Paralela a la Fibra (Kg/Cm ²)
Esfuerzo en el Límite Proporcional.	153.775	254.464	490.533
Esfuerzo máximo.	163.033	370.649	519.994

Cuadro 68 Fuente: *Elaboración propia*

PROPIEDAD	VALOR
Módulo de Elasticidad Promedio (MOE).	49851.874
MOE al Límite de Exclusión del 5%.	39154
Esfuerzo Admisible Promedio.	116.029
Esfuerzo Admisible al Límite de Exclusión del 5%.	92
Esfuerzo Promedio de Rotura.	370.649
Esfuerzo de Rotura al Limite Exclusión del 5%.	293
Esfuerzo Promedio en el Límite Proporcional.	254.464
Esfuerzo en el Limite Proporcional al Límite de Exclusión del 5%.	193

Cuadro 69 Fuente: *Elaboración propia*

III.2.8 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS: CORTE PARALELO A LA FIBRA.

III.2.8.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO: CORTE PARALELO A LA FIBRA.

Nº	CODIGO PROBETA	CONTENDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD BASICA (gr./Cm³)	ESFUERZO DE CORTE (Kg./Cm²)	ESFUERZO ADMISIBLE (Kg./Cm²) F.C.=1; F.T.=1; F.S.=4 F.D.C.=1 $\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_R$
1	III-8-1	102.514	0.448	41.886	10
2	III-8-2	103.064	0.463	40.652	10
3	III-8-3	101.266	0.471	42.258	11
4	III-8-4	102.060	0.470	39.629	10
5	III-8-5	80.276	0.500	42.015	11
6	II-8-6	113.613	0.382	34.617	9
7	I-8-7	97.865	0.388	33.519	8
8	II-8-8	85.429	0.493	57.952	14
9	II-8-9	61.773	0.485	53.609	13
10	II-8-10	52.851	0.476	51.040	13
11	II-8-11	67.950	0.491	48.121	12
12	I-8I12	116.493	0.397	41.414	10
13	I-8-13	110.274	0.389	47.105	12
14	I-8-14	108.799	0.413	23.970	6
15	I-8-15	98.084	0.383	25.674	6
M(X)		93.487	0.443	41.564	10.391
S(D)		18.880	0.044	9.156	2.289
CV%		20.195	9.940	22.029	22.029
Límite de Exclusión del 5% → 0.05 N.				23.970	6

Cuadro 70: Procesamiento Estadístico, CORTE PARALELO A LA FIBRA, probetas No preservadas.
Fuente: Elaboración propia

Nº	CODIGO PROBETA	CONTENDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD BASICA (gr./Cm³)	ESFUERZO DE CORTE (Kg./Cm²)	ESFUERZO ADMISIBLE (Kg./Cm²) F.C.=1; F.T.=1; F.S.=4 F.D.C.=1 $\sigma_{ADM} = \frac{(F.C.) \times (F.T.)}{(F.S.) \times (F.D.C.)} \times \sigma_R$
1	III-8-1	119.09	0.486	42.891	11
2	III-8-2	114.936	0.499	43.845	11
3	III-8-3	115.936	0.489	47.164	12
4	III-8-4	109.892	0.523	62.760	16
5	III-8-5	113.559	0.482	35.819	9
6	II-8-6	82.447	0.403	33.253	8
7	I-8-7	71.477	0.429	48.770	12
8	II-8-8	88.254	0.447	41.137	10
9	II-8-9	111.232	0.461	46.836	12
10	II-8-10	68.74	0.443	34.396	9
11	II-8-11	77.09	0.45	32.931	8
12	I-8I12	127.013	0.455	44.223	11
13	I-8-13	132.143	0.44	48.467	12
14	I-8-14	119.52	0.443	44.383	11
15	I-8-15	95.169	0.44	44.421	11

M(X)	103.100	0.459	43.420	10.855
S(D)	20.057	0.030	7.370	1.842
CV%	19.454	6.499	16.973	16.973
Límite de Exclusión del 5% → 0.05 N.			32.931	8

Cuadro 71 Fuente: *Elaboración propia*

PROPIEDADES	VALORES KG/CM2
Esfuerzo Admisible Promedio.	10.391
Esfuerzo Admisible al Límite de Exclusión del 5%.	6
Esfuerzo Promedio de Corte.	41.564
Esfuerzo de Corte al Limit. Exclusión del 5%.	24

Cuadro 72 Fuente: *Elaboración propia*

III.2.9 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS: DUREZA.

III.2.9.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO: DUREZA.

Nº	CODIGO PROBETA	CONTENDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD BASICA (gr./Cm³)	COEFICIENTE DE DUREZA BRINELL (HB)		
				HB Radial	HB Tangencial	HB Extremos
1	I-9-1	23.370	0.399	1.187	1.251	2.708
2	I-9-2	24.059	0.388	1.112	1.405	2.896
3	I-9-3	22.672	0.407	1.240	1.425	2.152
4	I-9-4	30.924	0.395	1.502	1.419	1.965
5	I-9-5	34.945	0.389	1.538	1.014	1.984
6	II-9-6	54.024	0.396	1.615	-----	1.483
7	III-9-7	42.011	0.460	1.439	-----	2.264
8	II-9-8	35.727	0.437	1.689	-----	2.602
9	II-9-9	27.265	0.486	1.700	1.543	2.963
10	II-9-10	44.502	0.458	1.449	-----	1.706
11	II-9-11	25.992	0.477	1.675	1.619	2.874
12	III-9-12	41.058	0.442	1.588	-----	1.669
13	III-9-13	43.439	0.476	1.645	1.762	1.689
14	III-9-14	42.384	0.465	1.773	1.774	1.641
15	II-9-15	21.053	0.486	1.910	1.795	2.570
M(X)		34.228	0.437	1.537	1.501	2.211
S(D)		9.711	0.037	0.215	0.238	0.503
CV%		28.370	8.374	13.988	15.855	22.756
Límite de Exclusión del 5% → 0.05 N.				1.112	1.014	1.483

Cuadro 73: Procesamiento Estadístico, DUREZA, probetas No preservadas.

Fuente: *Elaboración propia*

Nº	CODIGO PROBETA	CONTENDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD BASICA (gr./Cm³)	COEFICIENTE DE DUREZA BRINELL (HB)		
				HB Radial	HB Tangencial	HB Extremos
1	I-9-1	62.840	z	1.142	0.928	2.790
2	I-9-2	74.537	0.396	1.228	1.117	1.889
3	I-9-3	61.424	0.404	1.207	0.955	1.954
4	I-9-4	73.774	0.416	1.195	0.976	1.802
5	I-9-5	58.107	0.405	1.050	0.906	1.675
6	II-9-6	78.122	0.400	1.353	-----	1.928
7	III-9-7	67.138	0.453	1.544	1.176	1.793
8	II-9-8	51.212	0.404	0.985	-----	2.547
9	II-9-9	92.119	0.457	1.618	1.531	3.464
10	II-9-10	49.960	0.502	1.572	-----	2.790
11	II-9-11	96.798	0.425	1.678	1.276	2.507
12	III-9-12	43.981	0.415	1.268	-----	2.399
13	III-9-13	46.455	0.442	1.105	1.373	2.028
14	III-9-14	76.325	0.453	1.320	1.413	2.084
15	II-9-15	79.709	0.440	1.222	1.464	2.182
M(X)		67.500	0.429	1.299	1.192	2.255
S(D)		15.511	0.029	0.206	0.221	0.474
CV%		22.980	6.679	15.868	18.545	21.035
Límite de Exclusión del 5% → 0.05 N.				0.985	0.906	1.675

Cuadro 74 Fuente: Elaboración propia

III.2.9.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS: DUREZA.

En los resultados obtenidos por nuestra investigación se puede distinguir que tanto para las probetas No preservadas como para las probetas Preservadas se cumple que la dureza relativa a los extremos de las probetas son mayores que la dureza relativa a las caras radiales y estas a su vez son mayores a la dureza de las caras tangenciales, como se lo demuestra mediante el siguiente cuadro:

LA MADERA	DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA	Extremos	Radial	Tangencial
PINO RADIATA	Dureza Promedio.	2.211	1.537	1.501
	Dureza al Limit. Excl. del 5%.	1.483	1.112	1.014

Cuadro 75 Fuente: Elaboración propia

Así mismo se puede apreciar que la dureza relativa a las probetas No preservadas son mayores a la dureza ofrecida por las probetas Preservadas, a excepción de los extremos como se puede observar en el presente cuadro:

PROPIEDAD	VALORES KG/CM2
Dureza Radial Promedio.	1.537
Dureza Radial al Limit. Excl. del 5%.	1.112
Dureza Tangencial Promedio.	1.501
Dureza Tng. al Limit. Excl. del 5%.	1.014
Dureza Extremos Promedio.	2.211
Dureza Extremos al Limit. Excl. del 5%.	1.483

Cuadro 76

Fuente: Elaboración propia

Propiedad. DUREZA BRINELL	VALORES KG/CM2
Dureza Promedio, Radial.	1.537
Dureza Radial al Limite Exclusión del 5%	1.112
Dureza Promedio, Tangencial.	1.501
Dureza Tng. al Limite Exclusión del 5%.	1.014
Dureza Promedio, Extremos.	2.211
Dureza Extremos al Límite de Exclusión del 5%.	1.483

Cuadro 77

Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

El propósito del presente trabajo de investigación, estuvo enmarcado en la determinación de los esfuerzos admisibles de carga de la madera de *Pinus Radiata* que produce en Cajamarca; su determinación de las propiedades físicas y mecánicas y las propiedades de resistencia y elasticidad de la madera en mención.

La determinación de la resistencia de su composición de la madera pino radiata, nos proporcionó poder establecer que esta madera puede ser utilizada en diferentes elementos estructurales de las viviendas de Cajamarca.

Los resultados obtenidos de la presente investigación se consideran congruente en un porcentaje altamente elevado a lo estipulado en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. De la misma forma con la Corporación Chilena de la Madera, entidad que también analizó este tipo de madera en Chile, se tiene congruencia en los resultados con respecto a la madera de *Pinus Radiata* de la zona de estudio que se analizó.

.Tanto como Vicente Pérez Calas, la Corporación Chilena de la Madera y el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino consideran que la madera de *Pinus Radiata* en un estado de adultez de la madera, más de 30 años de edad, se cree apta para asumir parte de instalaciones estructurales en las viviendas de la ciudad de Cajamarca; más aún, esta madera ya adulta puede ser comercializada para otras regiones del país.

Durante el proceso de estudio se tuvieron como dificultades para tal investigación: el tiempo el clima, la distancia y la falta de colaboración por parte de los que analizan propiedades de la madera; Las limitaciones que se presentaron, fue los recursos económicos y la falta de asesoramiento en el desarrollo de este estudio: falta asesor metodológico y asesor para la parte técnica.

V. CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta lo indicado en la investigación concluimos que:

- 1) Las propiedades físicas y mecánicas de la madera Pinus Radiata según las normas ITINTEC; son las que se indican en los cuadros 83, 84, 85.
- 2) En un 80% los resultados relativos a la madera sin preservar tipo Pinus Radiata, son congruentes a lo establecido por El Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino
- 3) La madera tipo Pinus Radiata, se ajusta al grupo estructural “C” (madera blanda) de los PADT REFORT.
- 4) El comportamiento de las curvas Esfuerzo – Deformación Unitaria de los ensayos de Compresión Paralela a la Fibra, Compresión Perpendicular a la Fibra, Tracción Paralela a la Fibra y Flexión Estática, tienen una geometría similar a la de una curva típica del esfuerzo deformación para maderas dada por el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

PROPIEDADES FÍSICAS		
PROPIEDAD	VALOR	
	NO PRESV.	UNIDAD
CONTENIDO DE HUMEDAD		
Contenido de Humedad.	93.237	%
CONTRACCIÓN		
Contracción Tangencial Normal.	3.983	%
Contracción Radial Normal.	1.792	%
Contracción Longitudinal Normal.	0.187	%
Contracción Volumétrica Normal.	5.324	%
Contracción Tangencial Total.	5.891	%
Contracción Radial Total.	2.799	%
Contracción Longitudinal Total.	0.32	%
Contracción Volumétrica Total.	8.013	%
DENSIDAD		
Densidad Saturada.	0.901	gr/Cm ³
Densidad Verde.	0.717	gr/Cm ³

Densidad Seca al Aire.	0.46	gr/Cm ³
Densidad Anhidra.	0.424	gr/Cm ³
Densidad Básica.	0.393	gr/Cm ³

Cuadro 78: CUADRO RESUMEN (I) DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

Fuente: Elaboración propia

PROPIEDADES MECÁNICAS		
PROPIEDAD	VALOR	
	NO PRESRV.	UNIDAD.
FLEXIÓN ESTÁTICA		
Módulo de Elasticidad Promedio (MOE).	49851.874	gr/Cm ²
MOE al Límite de Exclusión del 5%.	39154	gr/Cm ²
Esfuerzo Admisible Promedio.	116.029	gr/Cm ²
Esfuerzo Admisible al Límite de Exclusión del 5%.	92	gr/Cm ²
Esfuerzo Promedio de Rotura.	370.649	gr/Cm ²
Esfuerzo de Rotura al Límite Exclusión del 5%.	293	gr/Cm ²
Esfuerzo Promedio en el Límite Proporcional.	254.464	gr/Cm ²
Esfuerzo en el Límite Proporcional al Límite de Exclusión del 5%.	193	gr/Cm ²
CORTE PARALELO A LA FIBRA		
Esfuerzo Admisible Promedio.	10.391	gr/Cm ²
Esfuerzo Admisible al Límite de Exclusión del 5%.	6	gr/Cm ²
Esfuerzo Promedio de Corte.	41.564	gr/Cm ²
Esfuerzo de Corte al Limit. Exclusión del 5%.	24	gr/Cm ²
DUREZA (BRINELL)		
Dureza Promedio, Radial.	1.537	HB
Dureza Radial al Límite Exclusión del 5%	1.112	HB
Dureza Promedio, Tangencial.	1.501	HB
Dureza Tng. al Límite Exclusión del 5%.	1.014	HB
Dureza Promedio, Extremos.	2.211	HB
Dureza Extremos al Límite de Exclusión del 5%.	1.483	HB

Cuadro 79: CUADRO RESUMEN (II) DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

Fuente: Elaboración propia

PROPIEDADES MECÁNICAS		
PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD.
	NO PRESRV.	
COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA		
Módulo de Elasticidad Promedio (MOE).	15384.54	gr/Cm²
MOE al Límite de Exclusión del 5%.	10603	gr/Cm²
Esfuerzo Admisible Promedio.	81.516	gr/Cm²
Esfuerzo Admisible al Límite de Exclusión del 5%.	63	gr/Cm²
Esfuerzo Promedio de Rotura.	163.033	gr/Cm²
Esfuerzo de Rotura al Limite Exclusión del 5%.	127	gr/Cm²
Esfuerzo Promedio en el Límite Proporcional.	153.775	gr/Cm²
Esfuerzo en el Límite Proporcional al Límite de Exclusión del 5%.	113	gr/Cm²
COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA		
Módulo de Elasticidad Promedio (MOE).	1090.558	gr/Cm²
MOE al Límite de Exclusión del 5%.	690	gr/Cm²
Esfuerzo Admisible Promedio.	9.574	gr/Cm²
Esfuerzo Admisible al Límite de Exclusión del 5%.	8	gr/Cm²
Esfuerzo Promedio en el Límite Proporcional.	15.318	gr/Cm²
Esfuerzo en el Límite Proporcional al Límite de Exclusión del 5%.	13	gr/Cm²
TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA		
Módulo de Elasticidad Promedio (MOE).	19446.365	gr/Cm²
MOE al Límite de Exclusión del 5%.	11291	gr/Cm²
Esfuerzo Admisible Promedio.	162.781	gr/Cm²
Esfuerzo Admisible al Límite de Exclusión del 5%.	71	gr/Cm²
Esfuerzo Promedio de Rotura.	519.994	gr/Cm²
Esfuerzo de Rotura al Límite de Exclusión del 5%.	228	gr/Cm²
Esfuerzo Promedio en el Límite Proporcional.	490.533	gr/Cm²
Esfuerzo en el Limite Proporcional al Límite de Exclusión del 5%.	216	gr/Cm²

Cuadro 80 Fuente: Elaboración propia

VI. RECOMENDACIONES

- 1) Para el diseño de elementos estructurales con madera tipo Pinus Radiata, se recomienda utilizar los siguientes valores:

PROP.		Elementos en conjunto	Elementos que trabajan aislados
MOE	:	55773 Kg/Cm ²	43573 Kg/Cm ²
fc//	:	105 Kg/Cm ²	91 Kg/Cm ²
fc	:	13 Kg/Cm ²	8 Kg/Cm ²
ft	:	186 Kg/Cm ²	75 Kg/Cm ²
fm	:	130 Kg/Cm ²	107 Kg/Cm ²
fv	:	11 Kg/Cm ²	8 Kg/Cm ²
D.B.	:	0.39 Kg/Cm ³	0.39 Kg/Cm ³
W%	:	123%	123%

Cuadro 81: Valores para diseño estructural de la madera tipo Pinus Radiata (Madera no Preservada).

Fuente: Datos propuestos y recomendados por ADEFOR.

- 2) Finalmente, se recomienda continuar con investigaciones relativas a alteraciones de las propiedades físico-mecánicas de la madera Pinus Radiata, utilizando otros métodos de preservación y otros preservantes.

VII. REFERENCIAS

- Ávila Baray, H.L. (2006) Introducción a la metodología de la investigación Edición electrónica. Texto completo en www.eumed.net/libros/2006c/203/
- Hernández S., Fernández C. y Pilar B.I. (2010) Metodología de la Investigación. 5ª Ed. México.
- Cooperación Chilena de la Madera (CORMA), (s.f.). Construcción de Viviendas de Madera.
- Instituto de la Construcción y Gerencia ICG (2002). Reglamento Nacional de Estructuras
- ITINTEC (1980). Normas para el diseño con maderas.
- James M. Gere, (2002). Resistencia de Materiales. 5º ed. Madrid.
- Junta del Acuerdo de Cartagena PADT REFORT (1984). Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. Lima – Perú.
- Murray R. Spiegel y Schaum M. Grawn Hill (2009). Estadística. 4º ed. México.
- Torres Bardales. Metodología de la Investigación Científica 1995 – UNMSM – Perú.

Referencias Electrónicas:

www.agrobyte.com/agrobyte/publicaciones/pinoradiata/indice.html

ANEXOS
Panel fotográfico



Bosque Piedra Grande



Bosque Piedra Grande



Bosque Piedra Grande (aserrando lonjas).



Bosque Piedra Grande (Talado de árboles).



**Toma de coordenadas
geodésicas (Árbol Talado).**



**Bosque Piedra Grande (aserrando
lonjas**



Tesis en ADEFOR



Transporte de madera



Derrame de Arboles



ADEFOR: Habilitación de probetas para Compresión Paralela a la Fibra.



ADEFOR: Habilitación de probetas para Compresión Perpendicular a la Fibra



Maquina Universal del Lab Mat. UNC



Pesado Probeta - Contenido de Humedad



Secado en estufa: Prob. Tracc. Par. Fibra, (C.H./D.B).



Máquina de Carga Instantánea de Falla.



Ensayos de probetas de compresión



Ensayo Comp. Perp. Fibra: (Falla)



Ensayos de flexión estática